



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

**STUDIE REKONSTRUKCE KOŘENOVÉ ČISTÍRNY PRO OBEC
DRAŽOVICE**

STUDY OF CONSTRUCTED TREATMENT WETLAND RECONSTRUCTION FOR DRAŽOVICE VILLAGE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Ladislav Roupec

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MICHAL KRIŠKA, Ph.D.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství krajiny

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Ladislav Roupec
Název	Studie rekonstrukce kořenové čistírny pro obec Dražovice
Vedoucí práce	Ing. Michal Křiška, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2016
Datum odevzdání	13. 1. 2017

V Brně dne 31. 3. 2016

prof. Ing. Miloš Starý, CSc.

Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA

Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

- 1) Kriška, M., Němcová, M.: Kořenové čistírny odpadních vod - METODICKÁ PŘÍRUČKA PRO POVOLOVÁNÍ, NÁVRH, REALIZACI A PROVOZ, 2015
- 2) Rozkošný, M., Kriška, M., Šálek, J., Bodík, I., Istenič, D.: Natural Technologies of Wastewater Treatment, 2014., 138 p., ISBN: 978-80-214-4831-5
- 3) Databáze vědeckých článků sciencedirect.com

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Práce posoudí stávající stav kořenové čistírny, poukáže na hlavní nedostatky a problémy, v rámci návrhu rekonstrukce se zaměří na grafické zpracování i detailní technický popis a postup rekonstrukce.

Druhá část práce se v případě realizace v období jaro/léto 2016 zaměří na analýzu a zpracování výsledků, resp. vyhodnotí zlepšení čistící účinnosti kořenové čistírny.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. Michal Kriška, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Kořenové čistírny, realizované v České republice od začátku 90. let, jsou koncipované tak, že neumožňují úspěšné odstraňování amoniakálního dusíku. Téměř většina z evidovaných 300 obecních čistíren trpí i silnými kolmatačními projevy, které často vedou ke snížené čistící účinnosti téměř ve všech sledovaných parametrech. Snahou Ústavu vodního hospodářství krajiny je náprava reputace a objasnění důvodů, které vedou k neuspokojivému stavu kořenových čistíren.

Diplomová práce se soustředí na vybranou kořenovou čistírnu v obci Dražovice (850 EO), která dlouhodobě odstraňuje amoniakální dusík s účinností těsně pod limitní hodnotou. Tlak Povodí Moravy i Odboru životního prostředí (stav. Úřad Bučovice) vedl k nutnosti realizace opatření, vedoucím ke zvýšení čistící účinnosti zejména amoniakálního dusíku.

Diplomová práce zahrnuje jak samotnou projektovou dokumentaci, soustředící se na úpravu toku vody s cílem úspěšné nitrifikace amoniakálního dusíku, tak na účinný výběr vhodného filtračního materiálu, doložený testováním in situ.

Celá práce se nepohybuje pouze v teoretické rovině, ale návrh technického řešení je i realizován podle zpracované projektové dokumentace. V termínu odevzdání diplomové práce je úprava čistírny téměř před dokončením, poslední úpravy budou probíhat na jaře 2017, kolaudace stavby a vyhodnocení provedené rekonstrukce na konci roku 2017.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kořenová čistírna, odpadní voda, vertikální filtr, amoniakální dusík (N-NH_4^+), filtrační systém

ABSTRACT

The constructed wetlands, which have been being created in the Czech Republic since early 90s, are designed so they do not allow successful removal of ammonia nitrogen. Almost all of these 300 registered constructed wetlands suffer from the colmatage which leads to the lowest effectiveness of treatment in nearly all parameters. The main effort of the Institute of landscape water management is to get rid of bad reputation and to clarify the reason that leads to unsatisfactory conditions of constructed wetlands.

The diploma thesis focuses on the selected constructed wetland in Dražovice (850 EO), which removes ammonia nitrogen with the effect just below the limit values in the long term. The pressure of the Morava river basin and Department of environment (Building Authority in Bučovice) has led to the necessity of taking measures leading to the increase of treatment efficiency especially ammonia nitrogen.

The diploma thesis includes both, actual project documentation concentrating on the adjustment of watercourse to nitrify ammonia nitrogen, and effective choice of suitable filtration material supported by testing method in situ.

The practical part of the thesis deals with the implementation of the technical solution according to the project documentation. The adjustment of the constructed wetland is now nearly before completion. Last adjustments will be taking place during the spring 2017, the final inspection as well as the evaluation of the reconstruction will take place at the end of this year.

KEYWORDS

Constructed wetland, wastewater, vertical filter, ammonia nitrogen (N-NH_4^+), cleaning efficiency, filtering system

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Ladislav Roupec *Studie rekonstrukce kořenové čistírny pro obec Dražovice*. Brno, 2017. 51 s., 0 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Michal Kriška, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12. 1. 2017

Bc. Ladislav Roupec

autor práce

Poděkování:

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Michalu Kříškovi, Ph.D. za odborné vedení, poskytnutí studijních materiálů, trpělivost a za pomoc při korekturách diplomové práce během konzultací.

Výzkumná část a stejně samotný návrh technického řešení je podpořen projektem FAST-S-16-3284: Výzkum a posouzení nového technického řešení filtračního pole pro stávající kořenovou čistírnu odpadních vod.

Technické řešení, související s návrhem distribučního potrubí, je realizováno a testováno v rámci výzkumného projektu FAST-S-15-2850 s názvem Vliv vsakujících odpadních vod na kvalitu podzemních vod. Řešení je chráněno užitným vzorem.

Obsah

1	Úvod	1
2	Technologie kořenových čistíren.....	3
2.1	Mechanické předčištění	3
2.2	Hlavní čistící stupeň.....	3
2.2.1	Horizontálně protékané KČOV	4
2.2.2	Vertikálně protékané KČOV.....	6
2.3	Terciální dočištění	8
2.4	Rostliny v kořenových čistírnách	9
2.4.1	Chrastice rákosovitá (<i>Phalaris arundinacea</i>)	9
2.4.2	Rákos obecný (<i>Phragmites australis</i>)	10
2.4.3	Orobinec širokolistý (<i>Typhalathifolia</i>)	10
3	Základní informace.....	11
3.1	Základní identifikace	11
3.2	Hydrologické údaje.....	12
3.3	Geologické poměry	13
3.4	Klimatické poměry.....	14
4	Stav KČOV Dražovice - před rekonstrukcí	16
4.1	Technologie KČOV Dražovice	16
4.2	Zatížení čistírny.....	19
4.3	Hodnocení účinnosti čištění	20
4.4	Provoz a provozní problémy na KČOV Dražovice.....	27
5	Výběr nejvhodnějšího filtračního materiálu	29
6	Rekonstrukce KČOV	36
6.1	Urbanistické a architektonické řešení stavby.....	37
6.2	Technické řešení.....	37
6.2.1	Filtrační pole.....	37

6.2.2	Přípojka nízkého napětí (NN)	40
6.2.3	Návrh čerpadla	40
6.2.4	Rozdělovací šachta	42
6.2.5	Rozdělovací potrubí.....	44
7	Závěr.....	47
8	Literatura.....	49
8.1	Použitá literatura.....	49
8.2	Internetové zdroje.....	50
9	Seznam příloh.....	51

1 Úvod

Kořenové čistírny odpadních vod (KČOV) jako alternativní čistírenská technologie je založená na přirozeném a pomalém čištění odpadních vod. Tyto čistírny využívají k odstraňování látek znečišťujících vody přirozené biotechnické procesy, které běžně probíhají v mokřadním prostředí. V podstatě se jedná o uměle vytvořené mokřadní systémy, které využívají samočisticí vlastnosti mokřadů k odstranění znečištění v odpadních vodách. (Wu a kol., 2014)

Z historického hlediska jsou na našem území kořenové čistírny odpadních vod relativně krátkou dobu. Oproti tomu v jiných evropských zemích, např. Německo, Rakousko a Nizozemí, byly uvedeny do provozu první mokřadní čistírny koncem 60. a začátkem 70. let. V České republice byla uvedena do provozu první kořenová čistírna v roce 1989, v ten moment začíná i postupný vývoj v odstraňování nedostatků při návrhu a realizaci kořenových čistíren. (M. Šnajdr, 2008)

Většina kořenových čistíren realizovaných na území České republiky nebyla navržena na odstraňování N-NH_4^+ . Při návrhu horizontálního filtru se vychází pouze ze znečištění BSK_5 , naopak N-NH_4^+ není při návrhu zohledňován. Nepochopeným faktem je, že po kořenové čistírně do 500 EO dle NV 401/2015 Sb. by v podstatě nikdo neměl požadovat odstraňování N-NH_4^+ , resp. investor musí počítat s tím, že N-NH_4^+ nebude jeho čistírna odstraňovat. Pokud vzniká požadavek na odstraňování N-NH_4^+ (ze strany investora, správce toku, životního prostředí aj.), je potřeba řešit projektovou dokumentaci jinak, než jen jednoduchým systémem šěrbinová usazovací nádrž + horizontální kořenový filtr. (online zdroj 1)

Za poslední pětiletí se vývoj v technologii a systému uspořádání celého konceptu kořenové čistírny posouvá značně dopředu. Účinnosti při odstraňování látek z odpadních vod se stávají srovnatelné s účinností technologií čištění odpadních vod z jiných evropských států. Například v Rakousku dosahují na odtoku z kořenové čistírny koncentrace $\text{CHSK}_{\text{Cr}} < 40 \text{ mg/l}$, $\text{BSK}_5 < 2 \text{ mg/l}$, $\text{NL} < 2 \text{ mg/l}$, $\text{N-NH}_4^+ < 0,1 \text{ mg/l}$. Nejmodernější kořenová ČOV v České republice dosahovala v roce 2015 $\text{CHSK}_{\text{Cr}} < 20 \text{ mg/l}$, $\text{BSK}_5 < 7 \text{ mg/l}$, $\text{NL} < 6 \text{ mg/l}$ (amoniakální dusík se v současné době pozvolna zlepšuje, cílem jsou rakouské hodnoty). (online zdroj 1)

Reálné provozní zkušenosti prokázaly, že kořenové čistírny při dosavadním uspořádání čistících technologií nedosahují požadovaných parametrů na odstranění některých látek znečišťujících vody, zejména při odstraňování amoniakálního dusíku, proto dochází ke změnám v některých technologických částech čištění odpadních vod. Jedinou možnou

cestou jsou vertikálně skrápěné filtry, které nejsou provozovány s kontinuálním přítokem, ale jsou zatěžovány nepravidelně, tzv. „pulzním přítokem“.

Cílem teoretické části je seznámení s tzv. „kořenovými čistírnami“ využívanými při odstraňování znečištění z odpadních vod, jejich technickým řešením a obecnými pravidly při návrhu kořenových čistíren odpadních vod. První kapitola je zaměřena na popis zájmové lokality a obce Dražovice, kde bude provedena rekonstrukce kořenové čistírny. V následující kapitole „Technologie kořenových čistíren“ jsou popsány tři hlavní stupně čištění, a to stupeň mechanického předčištění, biologický stupeň čištění a dočišťovací stupeň. V neposlední řadě jsou vysvětleny definice horizontálního a vertikálního kořenového filtru. Cílem výzkumného projektu FAST-S-16-3284 s názvem „Výzkum a posouzení nového technického řešení filtračního pole pro stávající kořenovou čistírnu odpadních vod“ je posoudit účinnost a zhodnotit technické řešení nového typu filtračního pole kořenové čistírny odpadních vod. Předmětem výzkumu se stává silně zakolmatované filtrační pole, vybudované v roce 1999 na KČOV v obci Dražovice. Po uskutečnění rekonstrukce (léto/podzim 2016), provedené na základě numerického modelu tak, aby odtékající voda obsahovala co možná nejméně amoniakálního dusíku, bude na filtračním poli i v dalším a navazujícím období sledována kvalita odpadní vody. V rámci projektu bude probíhat výběr filtračního materiálu, podložený pravidelnou chemickou analýzou odpadní vody (přítok i odtok). Na základě vyhodnocení bude v budoucnu provedena kalibrace vytvořeného matematického modelu nového typu filtračního pole. Současně bude posouzena technická stránka celého řešení a vyhodnocena jeho úspěšnost a přínos. Pokud se na základě výsledků získaných v rámci tohoto výzkumu ukáže, že lze pomocí jednoduché rekonstrukce, kdy se změní typ filtračního pole, dosáhnout lepší čistící účinnosti, může být tento způsob řešení aplikován na dalších KČOV České republiky. Na výsledné technické řešení bude uplatněn užitný vzor a uspořádání bude uplatněno i jako poloprovoz, včetně několika nových funkčních vzorků.

2 Technologie kořenových čistíren

Název „kořenová čistírna“ vznikl z anglického „RootZoneMethod“, což bylo pojmenování umělých mokřadů s podpovrchovým horizontálním průtokem, které se používalo v 70. a 80. letech 20. století (Vymazal, 2004). Kořenové čistírny odpadních vod (dále KČOV) nejsou složeny pouze z filtračních polí, jak se většina lidí domnívá. KČOV jako celek se skládá ze tří hlavních částí čištění odpadních vod. Prvním stupněm čištění je mechanické předčištění odpadní vody. Následuje hlavní čistící stupeň, na který může navazovat závěrečné terciální dočištění ve stabilizační nádrži.

2.1 Mechanické předčištění

Na mechanické předčištění jsou kladeny velké nároky, a to zejména na jeho účinnost při odstraňování nerozpuštěných látek z přiváděných odpadních vod. Tento požadavek vyplývá ze skutečnosti, že v odpadní vodě přitékající na KČOV může být až 1/3 mechanicky usaditelných látek, které by při vyšších koncentracích ucpávaly filtrační materiál a způsobovaly by jev zvaný kolmatace. (Šálek, 2008)

Mechanický stupeň předčištění je složen z hrubých a jemných česlí, lapáku písku a usazovací nádrže. V případě jednotné stokové sítě je zařazena před česlemi odlehčovací komora. Pokud se jedná o návrh domovní KČOV v rozsahu 5-10 ekvivalentních obyvatel (dále EO), lze použít na předčištění odpadních vod septik (Vymazal, 2009). Podle profesora Vymazala je doporučeno používat tzv. septiky II. generace. Septiky se navrhují podle normy ČSN EN 12566-1 (ČSN 756404): Malé čistírny odpadních vod do 50 EO.

2.2 Hlavní čistící stupeň

Hlavní čistící stupeň KČOV je tvořen filtračním polem, nebo soustavou několika za sebou sériově zapojených filtračních polí. Při správném návrhu a provozu probíhá ve filtru odbourávání většiny znečištění CHSK, BSK₅, NH₄, NL. Filtrační pole kořenové čistírny dělíme do dvou hlavních kategorií: vertikálně protékané kořenové čistírny a horizontálně protékané kořenové čistírny.

Rozdělení vertikálně protékaných kořenových čistíren:

- Sestupný tok s kontinuálním nebo diskontinuálním provozem a s nasyceným filtrem
- Sestupný tok s kontinuálním nebo diskontinuálním provozem a s nenasyčeným filtrem
- Vzestupný tok s kontinuálním či diskontinuálním nátokem s plně nasyceným filtrem

Praxe nejen v České republice ukazuje, že vertikálně protékané (diskontinuálně) filtry se realizují s cílem účinného odbourání amoniakálního dusíku, nemohou tedy být navrhovány

s vzestupným tokem. Provozovány jsou záměrně v nenasyčeném prostředí. V České republice není dle dostupné literatury realizováno jediné vertikální pole jinak, než s uplatněním sestupného toku v nenasyčeném filtračním prostředí.

Rozdělení horizontálně protékaných kořenových čistíren:

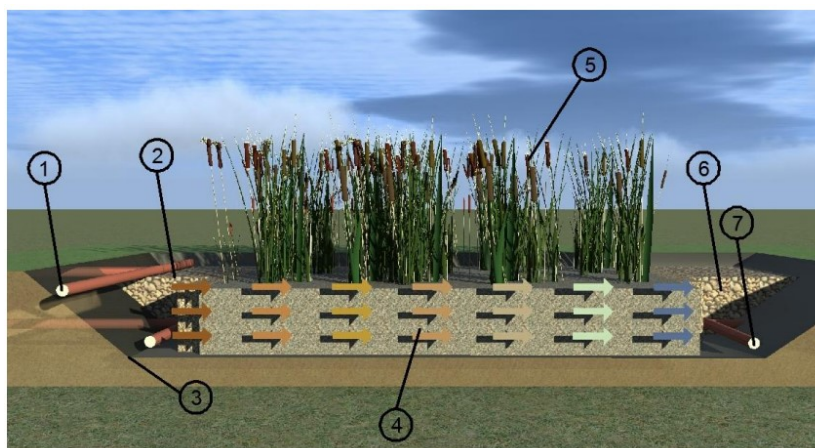
- Horizontální kořenová čistírna s povrchovým průtokem
- Horizontální kořenová čistírna s podpovrchovým průtokem

Jelikož povrchově protékané filtry mohou způsobovat provozní problémy, nejsou v praxi v podmínkách mírného klimatu České republiky navrhovány. Problémy, spojené s povrchově protékající vodou, jsou zejména:

- Senzorické – odpadní voda mechanicky předčištěná, protékající s volnou hladinou, může vzhledem k rozkladu organické hmoty silně zapáchat
- Hydraulické – povrchově protékající voda obsahuje vysoké koncentrace rozpuštěných látek (živin), může způsobovat sekundární znečištění ve formě nárůstu jednobuněčných řas, které následně mohou ucpávat pórovitý filtrační materiál
- Chemické – účinnost horizontálně povrchově protékaného filtračního pole může být zhoršena vlivem výše uvedeného vzniku sekundárního znečištění – rozklad odumřelých řas může způsobovat zhoršené odtokové parametry, spotřebovává kyslík apod.

2.2.1 Horizontálně protékané KČOV

Základním principem je horizontální průtok odpadní vody propustným substrátem, který je osázen mokřadními rostlinami. Při průtoku odpadní vody filtračním materiálem dochází k odstraňování znečištění kombinací fyzikálních, chemických a biologických procesů (Vymazal, 2004). Z konstrukčního hlediska je na jedné straně filtru situováno přívodní potrubí a na druhé straně (na dně v odtokové části) je sběrné drenážní potrubí. Celé filtrační lože je odizolováno, aby nedocházelo k průsakům do podloží. Nejčastěji se k odizolování používá PVC fólie, na které je oboustranně potažená geotextilie bránící mechanickému poškození fólie.



Obr. 1 Horizontálně protékající kořenový filtr: 1 - distribuční potrubí, 2 - distribuční zóna, 3 - PVC nepropustná folie, 4 - filtrační materiál, 5 - vegetace, 6 - odtoková zóna, 7 - sběrná drenáž (autor M. Křiška)

Téměř veškerá dostupná literatura uvádí návrh horizontálních filtračních polí podle vzorce, zajišťujícího odstranění znečištění BSK_5 . (Křiška a Němcová, 2015)

$$A_h = \frac{Q_d(\ln C_{in} - \ln C_{out})}{K_{BSK_5} \cdot n \cdot h} (m^2)$$

- kde A_h povrchová plocha kořenového filtru (m^2)
 Q_d průměrný průtok odpadní vody ($m^3 d^{-1}$)
 C_{in} BSK_5 na přítoku do filtru ($mg l^{-1}$)
 C_{out} BSK_5 na odtoku z filtru ($mg l^{-1}$)
 K_{BSK} rychlostní konstanta úbytku znečištění (m/d),
 n pórovitost filtračního materiálu
 h hloubka filtru

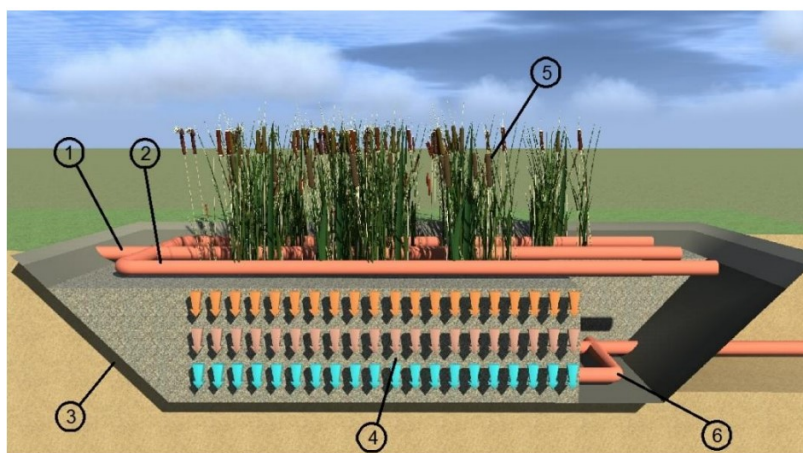
Evropská směrnice z roku 1990 doporučuje pro čištění městských splaškových vod hodnotu reakční konstanty $K_{BSK} = 0,1 m \cdot d^{-1}$, což většinou dává návrhovou plochu kořenových polí $5 m^2/EO$. Tato hodnota se ukázala jako velmi vhodná. Analýzou 624 VKČ pro čištění splaškových vod po celém světě byla zjištěna průměrná hodnota $K_{BSK} = 0,122 m \cdot d^{-1}$ (pro BSK_5 na přítoku na kořenová pole $> 40 mg l^{-1}$). Pro účinné odstraňování amoniaku a fosforu je nutné volit reakční konstantu výrazně nižší - cca $0,025 m \cdot d^{-1}$ (Vymazal a kol., 2008), čímž vychází velikost filtrační plochy téměř 5x vyšší. Při standardních průtocích (daných normami) a koncentracích (určenými legislativními požadavky) vychází průměrná hodnota $5 - 6 m^2/EO$, resp. $25 - 30 m^2/EO$ na odstraňování amoniaku. Vysoká náročnost na plochu řadí horizontální

filtrační pole do skupiny „nekonkurence schopné“. Z tohoto důvodu je vhodnější využití filtru s vertikálním prouděním (detaily v samostatné kapitole), případně při rekonstrukci stávajícího filtračního pole je možné zvýšit účinnost horizontálního filtru aplikací pulzního vypouštění filtračního pole (Křiška a Němcová, 2015). Hloubka filtračního lože se odvíjí od klimatických poměrů, zvoleného filtračního materiálu a druhu vegetace. Minimální doporučená hodnota je 0,8 m. (Šálek a kol., 2008)

Frakce používaná pro filtrační pole byla 8 - 16 mm, nyní ovšem praxe ukazuje, že při dodržení podmínky dokonalého mechanického předčištění je vhodnější použití jemnějších frakcí. Povrch nádrže i dno se navrhuje vodorovně. Odtoková zóna bývá často konstrukčně shodná s nátokovou zónou. Rozdílem bývá pouze umístění sběrného drénu v nejnižší části filtračního lože. Sběrný drén musí být vodotěsně vyveden do sběrné kontrolní šachty. V revizní šachtici bývá z pravidla osazena nožová stěna zajišťující konstantní hladinu odpadní vody ve filtračním poli.

2.2.2 Vertikálně protékané KČOV

Proudění odpadní vody probíhá převážně ve vertikálním směru. Dle konstrukčního umístění rozváděcího a drenážního potrubí se rozlišují vertikálně protékané KČOV s prouděním směrem dolů a prouděním směrem vzhůru. Oproti horizontálně protékaným KČOV ve filtru převládá aerobní prostředí, které zajišťuje i odstranění amoniakálního dusíku.



Obr. 2 Vertikálně protékaný kořenový filtr: 1 - rozdělovací potrubí, 2 - přívádčí potrubí, 3 - PVC nepropustná folie, 4 - filtrační materiál, 5 - vegetace, 6 - sběrná drenáž (autor M. Křiška)

Návrh velikosti filtrační plochy vychází z koncentrace znečištění CHSK_{Cr} , protože s N-NH_4^+ se při maximální navržené úrovni hydraulického zatížení (tj. výška vodního sloupce přepočtená na plochu filtru, jednotka mm/den) se vertikální filtr bez problémů vypořádá. Z výzkumných prací spojených s vývojem optimálního řešení bylo docíleno zásadního závěru, že účinnost, velikost a dimenze vertikálního pulzně skrápěného filtru, je $15,0 \text{ g}_{\text{CHSK}}/\text{m}^2/\text{den}$ – což je nejspíše nejdůležitější údaj, podle kterého se musí při návrhu

postupovat. Návrh půdorysné velikosti vertikálního filtru tedy vychází z celkového denního zatížení $CHSK_{Cr}$, které přitéká na vertikální filtr. (Křiška a Němcová, 2015)

Vertikálně protékané KČOV jsou oproti horizontálně protékaným KČOV náročnější na rovnoměrnou distribuci odpadní vody na filtrační lože. Proto pro dosažení vysoké účinnosti vertikálního filtru je vhodné řešit potrubí tak, aby se pulzně dávkovaná odpadní voda rozdělila rovnoměrně na celou plochu filtru. Rozdělovací potrubí je optimální realizovat z plastového potrubí, které je určeno pro vnitřní kanalizace – šedý polypropylen s označením PP-HT. Dimenze potrubí jsou doporučeny volit pro přívodní potrubí DN110 a pro rozdělovací DN40.

Přívodní i rozdělovací potrubí musí být velice výškově přesně ve vodorovné rovině (tolerance mezi nejnižší a nejvyšší úrovní max. 1,0 cm). Jedině tak je možné přiblížit se co možná nejlépe rovnoměrnému rozdělení odpadní vody po ploše vertikálního filtru. Proto je porubí osazeno a upevněno na podkladní betonové dlažbě po vzdálenosti 500 - 600 mm, která je výškově vyrovnaná. Perforované rozdělovací potrubí, které je opatřeno ze spodní strany otvory po vzdálenostech 250 mm o průměru 5 mm, musí být na konci vyvedeno aspoň o 250 mm výše (hydraulické vyrovnání hladiny odpadní vody, vypuštění vzduchových bublin, potenciální čištění potrubí v případě poruchy mechanického stupně). Samotné uspořádání potrubí na povrchu vychází z koncepce, kdy je nutné přivedení přívodního potrubí (DN110) ke středu filtračního pole, odkud je napříč filtrem napojena hlavní řada přívodního potrubí DN110, ze které jsou následně po vzdálenosti 60 - 80 cm vyvedeny rozdělovací řady DN40. (Křiška a Němcová, 2015)

Skladba jednotlivých vrstev vychází z vlastních měření, podložených zkušenostmi získanými v Rakousku. Výškový profil vertikálního filtru je rozdělen na několik vrstev, přičemž na povrchu filtračního materiálu je umístěno rozdělovací potrubí a při dně filtru je rozloženo sběrné drenážní potrubí. (Křiška a Němcová, 2015)

Výškový profil je v optimálním případě složen z následujících vrstev:

Tab. 1 Výškové uspořádání profilu vertikálně skrápěného filtru (Křiška a Němcová, 2015)

Název vrstvy	Materiál	Výška (mm)
Svrchní vrstva	Praný říční štěrk 4/8 mm	50 – 100
Hlavní filtrační vrstva	Praná frakce 0-5 mm	500 – 600
Přechodový filtr	Drcený štěrk 4/8 mm	50 – 100
Drenážní vrstva	Drcený štěrk 8/16 mm	200
Kompenzační vrstva**	Písek	0 – 50
Těsnění	Hydroizolace PVC 1,5 mm krytá oboustranně geotextilií 500 g/m ²	-
Pískový podsyp**	Písek	0 – 50

** (vhodné, ale není bezpodmínečně nutné)

2.3 Terciální dočištění

Terciální stupeň čištění probíhá ve stabilizační nádrži. Úkolem dočišťovací biologické nádrže je snížení zbytkového znečištění, eliminace amoniakálního znečištění a odstranění části nutrientů. V praxi se uplatňuje několik typů stabilizačních nádrží (lagun) lišících se technologickými parametry a biologickým oživením: anaerobní nádrže, oxidační nádrže a provzdušňované nádrže. Při správném návrhu a provozu vertikálních systémů není nutné žádné další dočišťování (vyjma případů, kdy se sleduje N_{celk} nebo $N-NO_3$ na odtoku). (Křiška a Němcová, 2015)

V anaerobních nádržích probíhá anaerobní předčištění odpadní vody, odtoky vyžadují aeraci před vypuštěním do recipientu. Doba zdržení je několik měsíců, hloubka nádrže se pohybuje v rozmezí od 2,5 m do 3 m, kyslík se dostává do vody povrchovou reaerací a ředěním čistou vodou, řasy se nevyskytují. (online zdroj 6)

Oxidační nádrž, jinak nazývaná fakultativní, nebo dočišťovací, má k dispozici kyslík produkovaný řasami. Rovnováhou mezi aerobními (horní vrstvy) a anaerobními pochody (u dna) se vyznačují fakultativní nádrže s dobou zdržení od jednoho do šesti týdnů. Hloubka nádrže je od 0,6 m do 1,5 m, povrchová reaerace je zanedbatelná v porovnání s fotosyntetickou asimilací řas. Vysokoúčinné aerobní laguny jsou mělké nádrže (0,15 m - 0,4 m) s mechanickým mícháním bohaté suspenze řas (biomasa se těží), doba zdržení je méně než jeden týden. Pro dočištění odtoků z čistíren (terciární čištění) se používají dočišťovací nádrže. (online zdroj 6)

2.4 Rostliny v kořenových čistírnách

Užitím rostlin se snažíme dosáhnout stabilizace povrchu filtračního lože, zvýšené poréznosti v tělese čistírny, co nejvyšší absorpce živin rostlinami ze zpracovávané vody, zabránění vzniku zkratových proudů, zvýšení evapotranspirace a příjemného estetického vzhledu (Abou-Elela a kol., 2012). Hlavním prvkem při čištění odpadní vody rostlinami je odebrání části „živin“ obsažených v odpadní vodě. Tyto živiny se odborně nazývají biogenní prvky. Biogenní prvky jsou nezbytné pro životní pochody rostlin. Mezi tyto prvky se řadí uhlík, kyslík, vodík, dusík, fosfor, síra, draslík, hořčík a vápník. Další důvod využívání rostlin je pro jejich kořenový systém, který vytváří příznivé podmínky pro rozvoj mikroorganismů, významně se uplatňujících v čistícím procesu. Velikost kořenového systému navíc přímou úměrou ovlivňuje růst nadzemní části rostliny, tzn. i příjem nutrientů, které je potřeba odstranit. Vliv na výběr rostliny má i její přirozený biotop. (Moshiri, 1993)

Mokřadní rostliny mají schopnost značné adaptace na stálé, případně periodické zaplavení, nedostatek kyslíku, vysoký obsah solí a náhlou změnu pH prostředí. Všem rostlinám vhodných k osázení kořenové čistírky vyhovuje právě voda z domácností bohatá na „živiny“ (odpadní látky). K osázení je velmi **vhodný** rákos obecný, orobinec širokolistý a úzkolistý, zblochan vodní, chrastice rákosovitá, skřípinec jezerní a sítina rozkladitá. Mezi další vysazované rostliny na kořenových čistírkách patří kosatec žlutý, blatouch bahenní, kyprej vrbice a tužebník jilmový. (online zdroj 7)

2.4.1 Chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*)

Chrastice rákosovitá je vlhkomilná rostlina rychle vytvářející biomasu. Vyskytuje se na březích toků, mokřích loukách, příkopech, náplavech či rákosinách, u nás roste v nižších až středních polohách na mokřích, humózních, písčitohlinitých půdách s neutrální reakcí. Stonek chrastice dosahuje výšek 0,5 - 2 m. kořenový systém vytváří poměrně hustou síť. Jelikož kořenový systém zasahuje do malých hloubek, přibližně 0,2 - 0,5 m, je vhodná k užití v horizontálně protékaných kořenových čistírnách. (Šálek a kol., 2006)



Obr. 3 Chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*)

2.4.2 Rákos obecný (*Phragmites australis*)

Rákos je rychle rostoucí a rozpínající mokřadní rostlina, která se vyskytuje ve stojatých nebo pomalu tekoucích vodách, na vlhkých loukách, bažinách, někdy i sušších stanovištích s kamenitou půdou. Nadzemní část dorůstá výšky 4,0 m. Kořenový systém dosahuje v příznivých podmínkách až do hloubky přes 1,0 m, proto se využívá u vertikálních filtračních polí. Způsobuje ucpání drenáží a vytlačení jiných druhů rostlin v jeho blízkosti. (Šálek a kol., 2006).



Obr. 4 Rákos obecný (*Phragmites australis*)

2.4.3 Orobinec širokolistý (*Typhalathifolia*)

Jedná se o vytrvalou cca 1 - 2,5 m vysokou rostlinu s oddenkem, rostoucí při březích rybníků nebo klidných vodních toků, mokřadech, vodních příkopech, preferuje bahnitý podklad bohatý na živiny. Je velmi odolná vůči teplotním rozdílům, proto její výskyt je od nížin do podhůří. Kořenový systém orobince vytváří hustou síť kořenů dosahující do hloubky 0,6 m. Obdobně jako rákos obecný je vhodný k využívání pro kořenové čistírny. (Šálek a kol., 2006)



Obr. 5 Orobinec širokolistý (*Typhalathifolia*)

3 Základní informace

3.1 Základní identifikace

Obec Dražovice se nachází v Jihomoravském kraji severovýchodně od města Brna. Dražovice jsou začleněny územně pod okres Vyškov a spadají pod obec s rozšířenou působností Bučovice. Přesnější poloha je přibližně patnáct kilometrů jihovýchodně od Vyškova a deset kilometrů severozápadně od města Bučovice. Celková katastrální výměra obce je 6,41 km², z toho je 0,12 km² zastavěné plochy. (online zdroj 2)

K roku 2015 bylo v obci provedeno sčítání obyvatel, a je zde evidováno 904 občanů. (online zdroj 2)

Tab. 2 Počet obyvatel v obci Dražovice (online zdroj 2)

Počet obyvatel						
	Počet bydlících obyvatel k 31.12.2015	Počet obyvatel ve věku				Střední stav obyvatel k 1.7.2015
		0-14 let	15-59 let	60-64 let	65 a více let	
Celkem	904	156	542	58	148	900
Muži	451	76	285	31	59	449
Ženy	453	80	257	27	89	451

Z technického hlediska je v obci vybudován veřejný vodovod, kanalizace, ČOV a je zde provedena plynofikace obce. V rámci občanské vybavenosti obce je zde pošta, knihovna, mateřská a základní škola a tělocvična s hřištěm. Dále je v obci poměrně rozsáhlá hospodářská činnost, kterou dokládá následující tabulka:

Tab. 3 Hospodářská činnost v obci Dražovice (rok 2015) (online zdroj 2)

Zemědělství, lesnictví, rybářství	14
Zpracovatelský průmysl	31
Stavebnictví	26
Velkoobchod a maloobchod; opravy a údržba motorových vozidel	56
Doprava a skladování	5
Ubytování, stravování a pohostinství	7
Činnosti v oblasti nemovitostí	2
Profesní, vědecké a technické činnosti	10
Kulturní, zábavní a rekreační činnosti	2
Ostatní činnosti	18
Nezařazeno	8
Státní organizace - počet subjektů	1
Akciové společnosti - počet subjektů	1
Obchodní společnosti - počet subjektů	10
Družstevní organizace - počet subjektů	1
Podnikatelé - fyzické osoby - počet subjektů	163
Svobodná povolání - počet subjektů	3
Ostatní právní formy - počet subjektů	13
Počet subjektů bez zaměstnanců	75
Počet subj.s 1-9 zaměst.- mikropodniky	14
Počet subj.s 10-49 zaměst.- malé podniky	4
Počet subj.s 50-249 zaměst.- střed.podn.	0
Počet subj.s >249 zaměst.- velké podniky	0

3.2 Hydrologické údaje

Na základě požadavku obce byly pro účely plánované rekonstrukce vyžádány podklady z ČHMU, zahrnující hydrologická data Dražovického potoku. Zasláná data z ČHMU jsou vydána k červenci 2016.

Tab. 4 N-leté průtoky

P	N-leté průtoky Q_N						$m^3 \cdot s^{-1}$	
	1	2	5	10	20	50	100	třída
1)	0,43	0,76	1,6	2,5	4,0	6,7	9,6	III
2)	0,74	1,1	2,2	3,5	5,5	9,4	13,7	III
3)	0,34	0,62	1,3	2,2	3,5	6,0	8,7	III

N- leté průtoky jsou odvozeny z dat staničení sítě ČHMÚ za maximální období pozorování podle reálného odtoku v povodí. Odpovídají současnému stavu poznatků o režimu povodní v povodích.

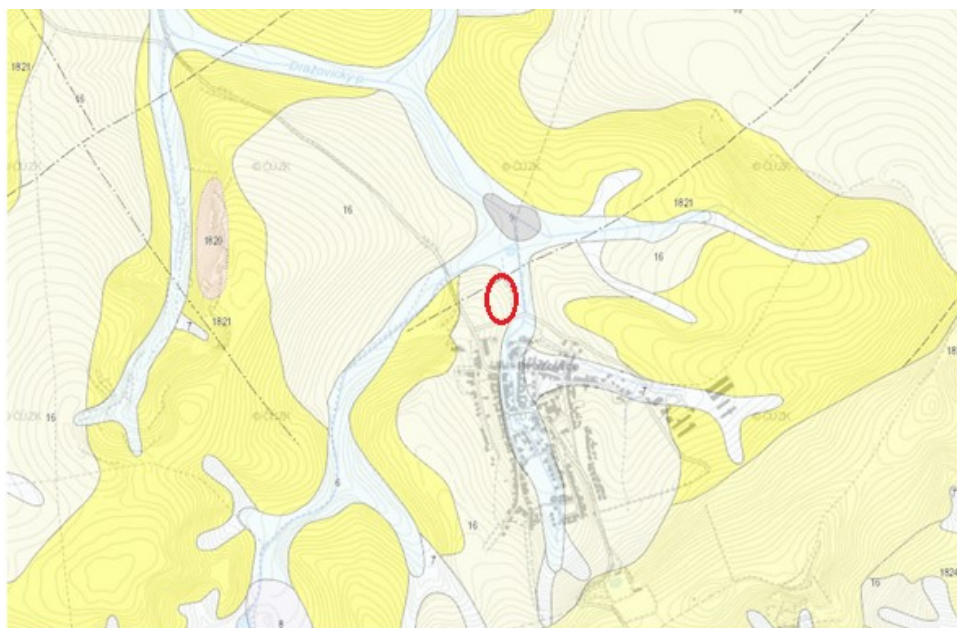
Tab. 5 Hydrologické údaje o území

Vodní tok	1) Dražovický potok	
	2) Dražovický potok	
	3) Pravostranný přítok Dražovického potoka (v lokalitě Louky, k.ú. Dražovice)	
Číslo hydrologického pořadí	1) 4-15-03-0740	
	2) 4-15-03-0740	
	3) 4-15-03-0740	
Profil	1) Nad levostranným přítokem u ČOV Dražovice	
	2) Nad pravostranným přítokem v lokalitě Louky, k.ú. Dražovice	
	3) Nad Dražovickým potokem	
Plocha povodí A	1) 1,88	km ²
	2) 4,70	km ²
	3) 1,69	km ²
Souřadnice S-JTSK: X, Y (východ/sever)	1) X = -573863 m, Y = -1162855 m	
	2) X = -573877 m, Y = -1162751 m	
	3) X = -573876 m, Y = -1162743 m	

3.3 Geologické poměry






Z geologického hlediska okres Vyškov leží na rozhraní dvou horských systémů – Českého masívu a Karpat, geologická hranice mezi nimi jde Vyškovským úvalem, geograficky pak Vyškovskou bránou. Severozápadně od této hranice leží Dražovská vrchovina prvohorního stáří. (online zdroj 3)

V následující geologické mapě je vyznačeno červeným kroužkem umístění kořenové čistírny pro obec Dražovice.







Obr. 6 Geologická mapa 1:50 000 (online zdroj 4)

Kvartér:

-  Nivní sediment [ID: 6]
-  Smíšený sediment [ID: 7]
-  Karbonát sladkovodní [ID: 8]
-  Slatina, rašelina, hnílokal [ID: 9]
-  Spraš a sprašová hlína [ID: 16]

Neogén:

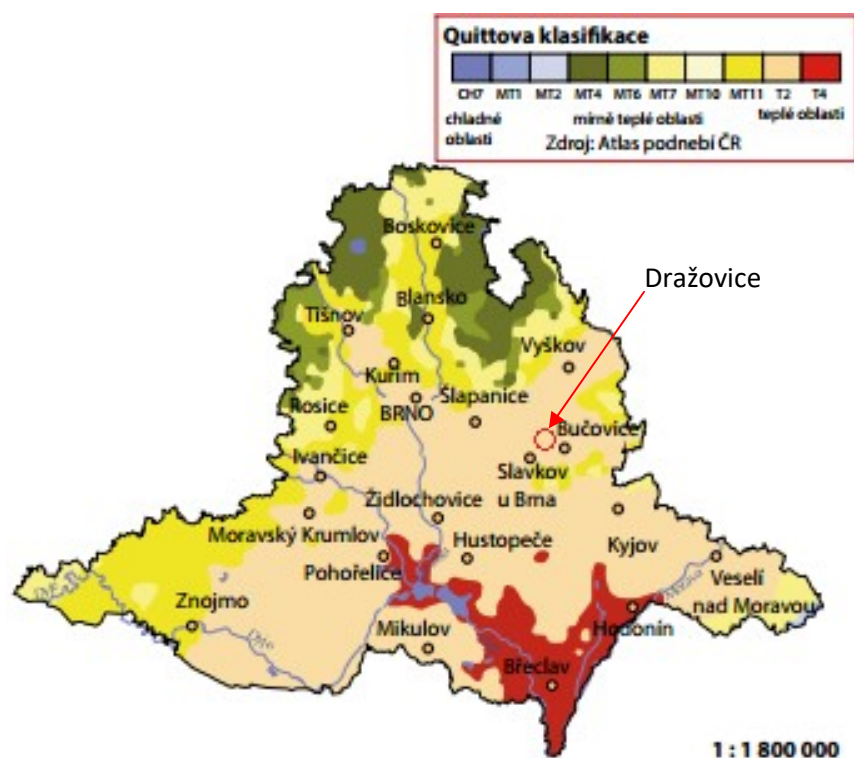
-  Vápenec [ID: 1820]
-  Vápnitý jíl (tégel), místy s polohami písků [ID: 1821]
-  Klastika – písky, štěrky se zpevněnými polohami pískovce, slepenec [ID: 1823]
-  Vápnitý jíl (šlír), s polohami vápnitých písků a štěrků [ID: 1824]

3.4 Klimatické poměry

Klimatické poměry v oblasti jsou dány velkými výškovými rozdíly. Výškový rozdíl v některých místech dosahuje nadmořské výšky více než 800 m n. m. a oproti tomu v nížinatých oblastech okolo 200 m n. m. To má za následek rozdílné klimatické poměry v dané oblasti. Dle Quittovy klasifikace je katastrální území Dražovice řazeno do oblasti T2, tudíž tzv. teplé oblasti.

Tab. 6 Klimatická charakteristika teplé oblasti T2(online zdroj 5)

Počet letních dní	50 - 60
Počet dní s prům.teplotou 10°C a více	160 - 170
Počet dní s mrazem	100 - 110
Počet ledových dní	30 - 40
Průměrná lednová teplota	-2 - -3
Průměrná červencová teplota	18 - 19
Průměrná dubnová teplota	8 - 9
Průměrná říjnová teplota	7 - 9
Prům.počet dní se srážkami 1 mm a více	90 - 100
Suma srážek ve vegetačním období	350 - 400
Suma srážek v zimním období	200 - 300
Počet dní se sněhovou pokrývkou	40 - 50
Počet zatažených dní	120 - 140
Počet jasných dní	40 - 50



Obr. 7 Klimatické členění Jihomoravského kraje (online zdroj 5)

4 Stav KČOV Dražovice - před rekonstrukcí

KČOV v obci Dražovice u Vyškova patří co do počtu EO k největším realizovaným KČOV v České republice. KČOV je podrobně a dlouhodobě sledována od spuštění zkušebního provozu ke konci roku 1999. Monitoring je zaměřen na čistící proces, úbytek znečištění a sledování funkčnosti jednotlivých objektů. Daným sledováním byly odhaleny závažné či méně závažné nedostatky, které negativně ovlivňují dobrou funkčnost KČOV.

4.1 Technologie KČOV Dražovice

Technologicky je KČOV složena ze tří hlavních stupňů čištění:

I. stupeň mechanického předčištění:

- dešťový oddělovač (odlehčovací komora)



- dešťová zdrž



- typizovaný štěrbinový lapák písku horizontální s jemnými česlemi



- typizovaná štěrbinová usazovací nádrž



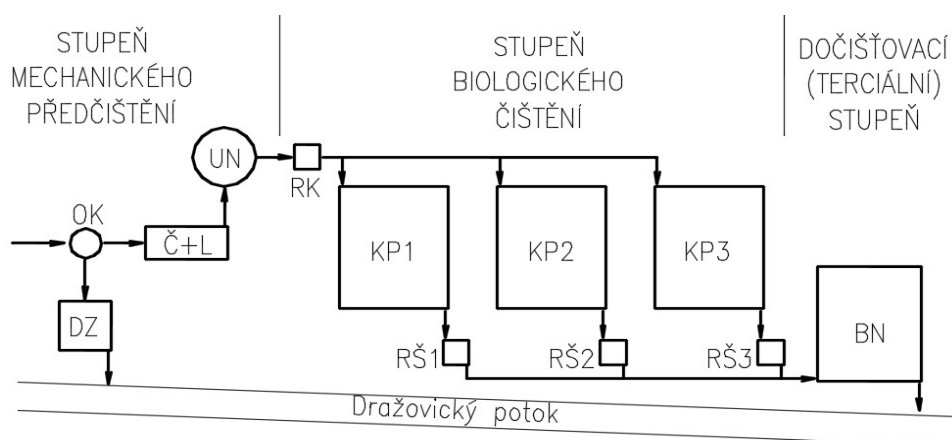
II. Stupeň biologického čištění:

- Tři horizontálně protékající kořenová pole



III. Dočišťovací stupeň:

- mělká nízkozatěžovaná stabilizační nádrž s převládajícími aerobními podmínkami



Obr. 8 Schéma KČOV Dražovice: OK - odlehčovací komora; DZ - dešťová zdrž; Č+L - česle a lapák písku; RK - rozdělovací komora; KP - kořenová pole; RŠ - revizní šachty; BN - biologická nádrž

Všechny navržené kořenové pole mají totožné rozměry a jejich konstrukční skladby jsou stejné. Pole jsou postavena se sklonem dna 1,2 ‰ a filtrační náplň tvoří kamenivo frakce 8/16 mm. V rozvodných zónách je použito kamenivo o frakci 100 - 200 mm. Celková plocha polí je 3 900 m². Hloubka polí je v rozmezí 0,7 - 1,0 m a šířky 31,0 m. Pole jsou provozována paralelně s možností nastavení na provoz v sérii.

4.2 Zatížení čistírny

Při průzkumu KČOV a z výsledku analýz obsahu znečištění v odpadní vodě je patrné, že v průměru není zatěžována množstvím, které odpovídá projektovaným předpokladům. Kapacitně čistírna byla projektována na 780 EO, kdežto v současnosti zatížení odpovídá ekvivalentu zatížení od 850 EO. Návrh byl proveden podle rovnic pro výpočet odstranění organického znečištění a nerozpuštěných látek (viz. Šálek, Tlapák, 2006; Vymazal, 1995).

Projektové hodnoty pro jednotlivé znečištění byly navrženy:

- Koncentrace BSK₅ na přítoku 319 mg/l
- Účinnost mechanického předčištění asi 30 ‰ (na filtrační pole 224mg/l BSK₅)
- Průměrný denní průtok $Q_{dp} = 1,53$ l/s,
- Maximální průtok na KČOV $Q_{max} = 6,3$ l/s
- Hodnota reakční konstanty $K_{BSK} = 0,1$

Poměry skutečného a návrhového zatížení znečištěním, vyjádřené ukazateli obsahu NL, BSK₅ a hodnot průměrného denního průtoku odpadní vody v bezdeštném období (Q_{dp}) jsou následující (NL - BSK₅ - Q_{dp}): 0,61 - 0,25 - 1,44. V Dražovicích je do kanalizace zaústěno množství balastních vod (např. drenáže), které zvyšují množství vody na přítoku a vyrovnávají kolísání množství splaškových vod během dne. V projektové dokumentaci byl odhadnut podíl balastních vod na 20 %. Podle reálných měření je dlouhodobý průměrný denní průtok 2,4 l/s, tj. o 43,8 ‰ vyšší než je návrhová hodnota Q_{dp} 1,53 l/s. (převzato od obce Dražovice)

Hodnoty hydraulického a látkového zatížení KČOV jsou:

Tab. 7 Zatížení KČOV Dražovice - průměrné hodnoty

Lokalita	Hydraulické zatížení [m ³ / (m ² ·den)]	BSK ₅	CHSK-Cr	NL	N-NH ₄ ⁺	P celk.
		g / (m ² ·den)				
Návrhové						
Dražovice – přítok na ČOV	0,04 – 0,08	10	---	11	---	---
Vypočtené podle měřených hodnot						
Dražovice – přítok na kořenová pole	0,044 – 0,133	2,5	5,69	2,74	1,45	0,24

4.3 Hodnocení účinnosti čištění

Pro účely plánované rekonstrukce byly použity reálné účinnosti čistírny na jednotlivých stupních čištění, na kterých byly sledovány čistící účinky, zejména překročení limitních hodnot a úbytek znečištění. Veškeré hodnoty jsou získány od obce Dražovice a ve spolupráci s ústavem vodního hospodářství krajiny zpracovány a použity při návrhu rekonstrukce KČOV Dražovice.

Průběh odstranění organického znečištění vyjádřeného ukazateli biochemické spotřeby kyslíku BSK_5 a chemické spotřeby kyslíku $CHSK_{Cr}$ je na této KČOV obdobný jako odstraňování nerozpuštěných látek. Snížení na stupni mechanického předčištění je minimální z důvodu hydraulického přetížení objektů usazování a krátkodobého přetížení v důsledku dešťových událostí a proplachování jednotné kanalizační sítě (nedostatečné oddělení vod na dešťovém oddělovači). Snížení se v průměru pohybuje pouze v hodnotách 13 % pro BSK_5 a 15 % pro NL (Tab. 7). Většina zbytkového znečištění je odstraněna na kořenových polích. Ve filtračních polích byl zjištěn úbytek organického znečištění 58 % ve vzdálenosti 8 až 10 metrů od nátokového rozdělovacího potrubí. Pro NL je úbytek 80 % patrný ve vzdálenosti 12 - 15 m. Podle měření jsou NL eliminovány prakticky v půli délky kořenových polí. Čistící účinek tří kořenových polí se v průměru pohybuje okolo hodnot 79 % pro NL, 58 % pro BSK_5 a 40 % pro $CHSK_{Cr}$.

Tab. 8 Hodnoty účinnosti byly vypočteny z dlouhodobých průměrných hodnot za období prosinec 1999 až srpen 2007

Ukazatel	Účinnost přítok - odtok (%)				
	mechanické předčištění	kořenová pole	biologická dočišťovací nádrž	celá ČOV	celá ČOV bez BN
NL	15	79	-58	72	82
BSK_5	13	58	14	68	63
CHSK	13	40	72	85	48
$N-NH_4^+$	8	20	16	38	27
$P_{celk.}$	-1	7	10	15	6

Z pravidelných měsíčních odběrů na odtoku z KČOV za období leden 2013 – říjen 2016 (tab. 9-12) bylo zjištěno, že průměrné hodnoty pro BSK_5 , $CHSK_{Cr}$ a NL nepřekročily dle nařízení vlády č. 401/2015 Sb. dané přípustné hodnoty pro vypouštění odpadních vod do recipientu. Oproti tomu byla zjištěna špatná účinnost při odstraňování amoniakálního dusíku ($N-NH_4$). Z měřených hodnot vyplývá, že v některých měsících byly překročeny přípustné hodnoty pro $N-NH_4$ na odtoku z KČOV. Překročení přípustných hodnot dle nařízení vlády č. 401/2015 Sb. v jednotlivých měsících je zvýrazněno žlutou barvou.

Tab. 9 Hodnoty znečištění na odtoku z KČOV za rok 2013

2013	BSK ₅ [mg/l]	CHSK _{Cr} [mg/l]	N-NH ₄ [mg/l]	NL [mg/l]	P celk. [mg/l]
Leden	7,6	49,0	16,5	4,6	1,89
Únor	4,2	30,0	12,8	4,2	1,51
Březen	5,6	43,0	11,6	16,5	0,81
Duben	5,3	41,0	13,4	2,0	1,31
Květen	13,9	35,0	10,8	21,0	1,53
Červen	6,9	65,0	9,2	12,8	2,16
Červenec	10,3	77,0	13,7	12,4	3,26
Srpen	8,8	18,0	13,4	25,5	1,85
Září	4,1	22,0	11,3	11,0	1,54
Říjen	11,8	59,0	20,6	12,5	3,26
Listopad	7,4	60,1	18,3	6,3	2,56
Prosinec	39,7	97,0	29,1	11,0	4,88
průměr	10,5	49,7	15,1	11,7	2,2

Tab. 10 Hodnoty znečištění na odtoku z KČOV za rok 2014

2014	BSK ₅ [mg/l]	CHSK _{Cr} [mg/l]	N-NH ₄ [mg/l]	NL [mg/l]	P celk. [mg/l]
Leden	24,7	70,0	38,4	8,0	4,3
Únor	25,0	68,0	34,9	11,5	4,5
Březen	13,1	56,0	20,0	11,0	3,5
Duben	10,1	40,0	13,9	22,5	2,3
Květen	4,4	44,5	13,7	15,5	2,0
Červen	7,0	55,0	23,2	6,3	2,6
Červenec	7,3	59,7	25,5	19,5	4,1
Srpen	4,0	28,0	10,8	4,7	1,8
Září	5,5	24,3	8,9	6,7	1,4
Říjen	5,5	53,2	16,2	15,5	3,8
Listopad	6,6	48,9	15,6	11,0	2,3
Prosinec	3,6	33,0	14,8	6,0	1,7
průměr	9,7	48,4	19,7	10,6	2,9

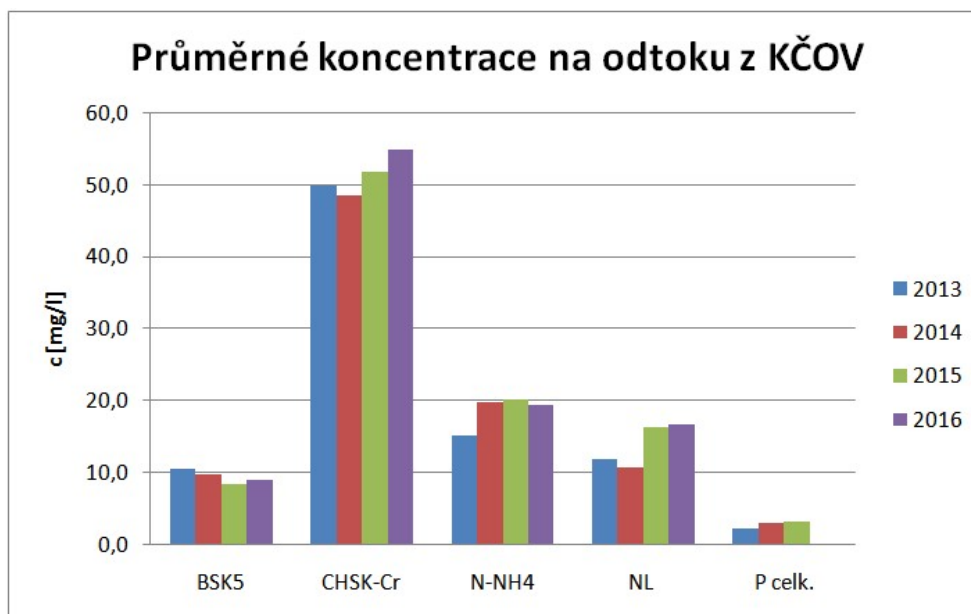
Tab. 11 Hodnoty znečištění na odtoku z KČOV za rok 2015

2015	BSK ₅ [mg/l]	CHSK _{Cr} [mg/l]	N-NH ₄ [mg/l]	NL [mg/l]	P celk. [mg/l]
Leden	8,5	48,4	27,6	8,0	3,7
Únor	10,4	54,4	25,0	9,0	3,3
Březen	4,4	28,1	10,3	10,0	1,3
Duben	11,0	60,2	20,8	18,0	3,6
Květen	11,5	64,8	22,1	25,0	3,1
Červen	4,1	34,1	13,2	13,0	2,9
Červenec	8,1	52,5	19,2	20,0	3,5
Srpen	15,0	115,0	23,5	47,0	5,1
Září	6,0	38,0	20,6	2,5	1,3
Říjen	3,6	21,1	17,5	10,0	2,8
Listopad	7,5	49,8	18,4	11,2	1,4
Prosinec	6,7	53,2	16,3	9,3	2,1
průměr	8,3	51,7	20,0	16,3	3,0

Tab. 12 Hodnoty znečištění na odtoku z KČOV za rok 2016

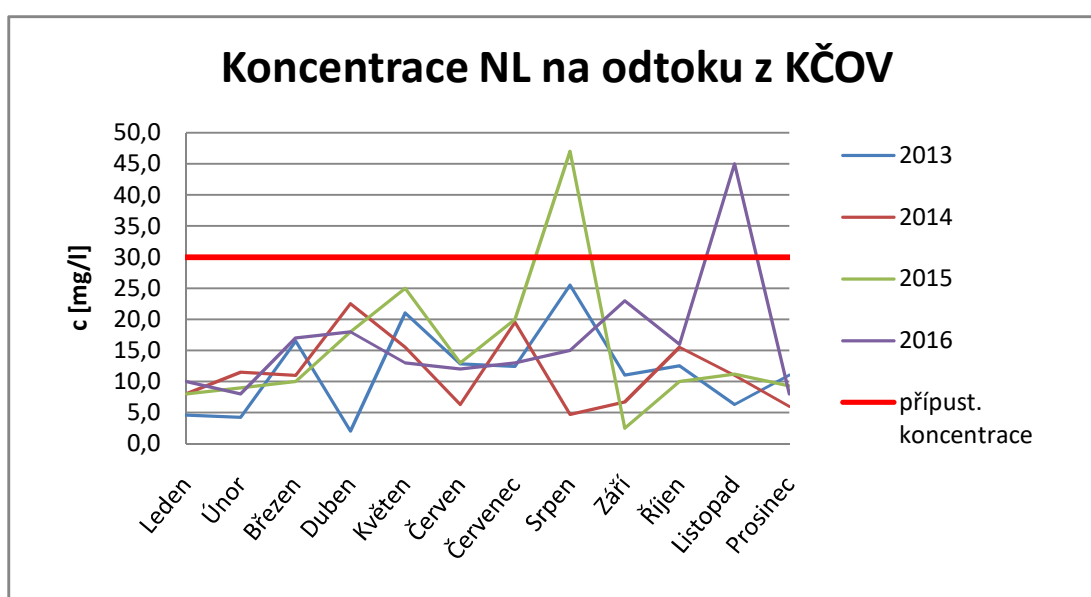
2016	BSK ₅ [mg/l]	CHSK _{Cr} [mg/l]	N-NH ₄ [mg/l]	NL [mg/l]	P celk. [mg/l]
Leden	24,6	85,4	34,7	10,0	-
Únor	3,2	26,7	9,0	8,0	-
Březen	6,6	46,0	14,9	17,0	-
Duben	7,1	52,0	12,7	18,0	-
Květen	5,2	62,3	26,1	13,0	-
Červen	6,4	52,0	25,9	12,0	-
Červenec	9,0	39,0	17,4	13,0	-
Srpen	4,0	48,0	10,3	15,0	-
Září	16,0	90,0	24,8	23,0	-
Říjen	9,0	48,0	17,5	16,0	-
Listopad	8,0	60,0	16,3	45,0	-
Prosinec	7,6	48,8	22,2	8,0	-
průměr	8,9	54,9	19,3	16,5	-

Z hodnot průměrných koncentrací na odtoku z KČOV Dražovice je patrné, že účinnost kořenové čistírny při odstraňování biologického znečištění vyjádřeného hodnotami CHSK_{Cr}, resp. hodnotami BSK₅ a snížení koncentrace nerozpuštěných látek je splněno dle nařízení vlády č. 401/2015 Sb. pro přípustné hodnoty znečištění při vypouštění odpadních vod do recipientu. Oproti tomu dosažené průměrné koncentrace při odstraňování amoniakálního dusíku na odtoku z KČOV jsou téměř totožné s přípustnými koncentracemi pro amoniakální dusík, které předepisuje nařízení vlády č. 401/2015. Z tohoto důvodu by měla být snaha o zvýšení účinnosti při odstraňování amoniakálního dusíku.



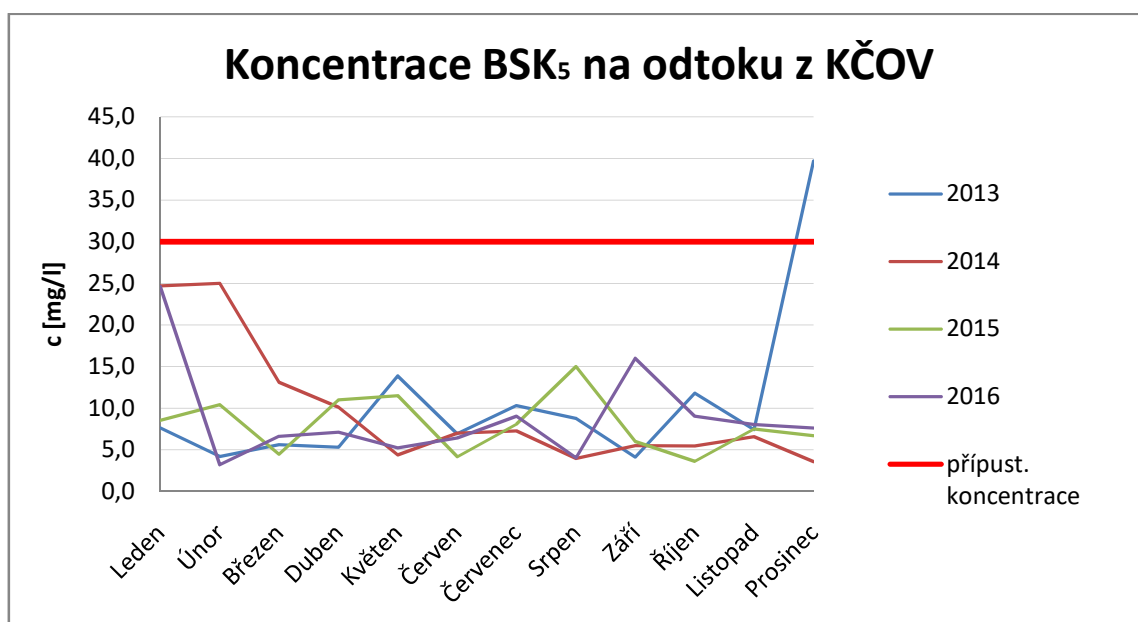
Graf. 1 průměrné koncentrace na odtoku z KČOV

V důsledku nárůstu biomasy, zejména v období červenec až září, dochází k opětovnému nárůstu koncentrace NL na odtoku z čistírny za stabilizační dočišťovací nádrží. Sekundární znečištění má však jinou strukturu látek než znečištění na přítoku a je snáze odstranitelné ve vodním prostředí recipientu. Z tohoto důvodu je také dlouhodobá průměrná účinnost čištění dočišťovací nádrže pro NL 58 %. Účinnost odstranění organického znečištění je pravděpodobně méně závislá na ročním období. V následujícím grafu jsou vyznačeny průběhy koncentrací nerozpuštěných látek za sledované období v jednotlivých měsících. Následně, je v grafu zvýrazněná hodnota přípustných koncentrací dle nařízení vlády č. 401/2015 Sb.

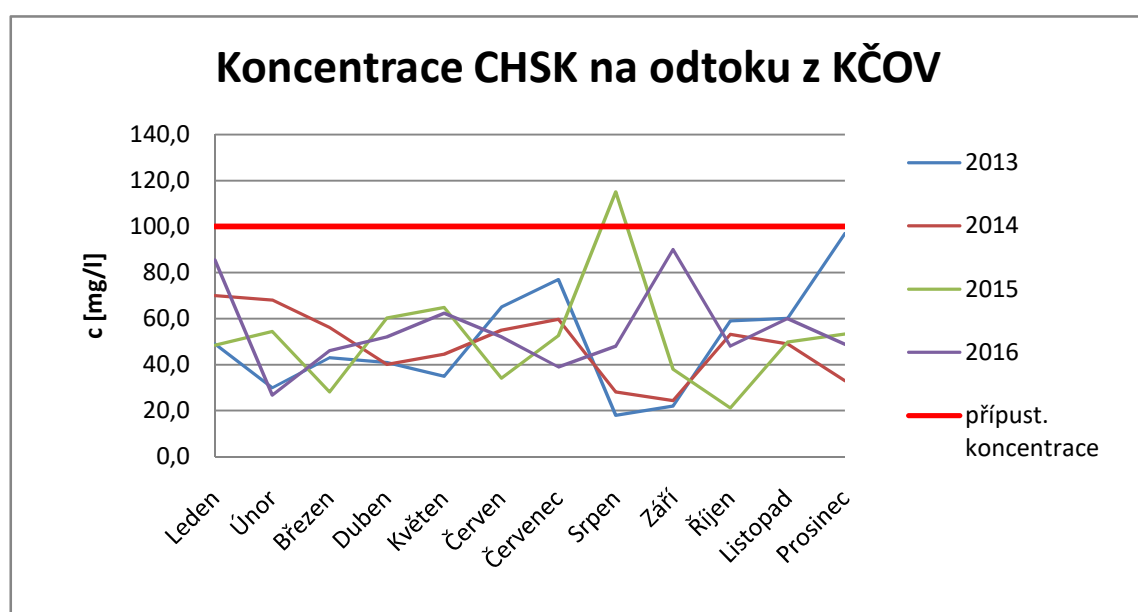


Graf 2. Koncentrace nerozpuštěných látek na odtoku z KČOV

Účinnost na KČOV Dražovice při odstraňování organického znečištění je vyjádřena hodnotami CHSK, resp. BSK₅. Celková účinnost při odstraňování organického znečištění je 68 % pro BSK₅ a 85 % pro CHSK_{Cr}. Nejvyšších dlouhodobých účinností pro BSK₅ je dosaženo na kořenových filtrech, kde účinnosti dosahují 58 % z celkové účinnosti při odstraňování organického znečištění. Oproti tomu dlouhodobá účinnost čištění nádrže pro ukazatele organického znečištění je 14 % pro BSK₅ a 72 % pro CHSK_{Cr}, tedy veškeré organické látky.

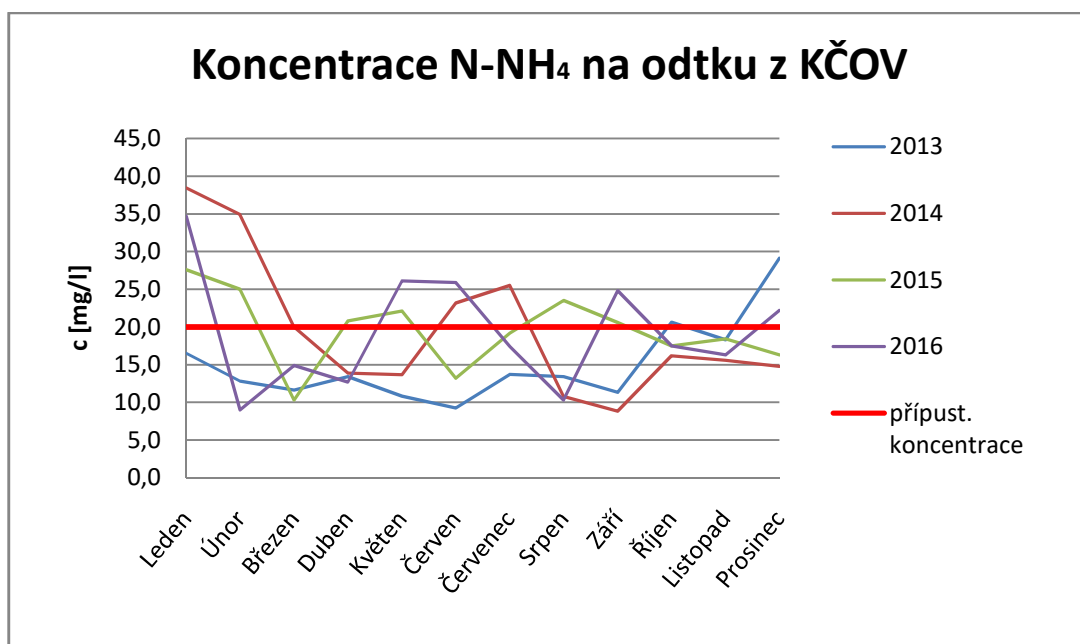


Graf 3. Koncentrace biologické spotřeby kyslíku na odtoku z KČOV



Graf 4. Koncentrace chemické spotřeby kyslíku na odtoku z KČOV

Jak už bylo několikrát zmíněno v této práci, účinnosti při odstraňování N-NH_4 jsou na kořenové čistírně v Dražovicích nedostačující. Jak je patrné z následujícího grafu, ve kterém je vodorovnou červenou čarou vyznačena přípustná hodnota pro amoniakální dusík obsažený při vypouštění do recipientu, je tato hodnota v průběhu roku opětovně překračována. Hodnoty naměřené v lednu roku 2014 a 2016 dosahují téměř mezní hodnoty. Podle nařízení vlády č. 401/2015 je mezní hodnota pro amoniakální dusík 40 mg/l při vypouštění odpadních vod do recipientu. Tato hodnota je stanovena pro obce s 500 - 2000 EO.



Graf 5. Koncentrace chemické spotřeby kyslíku na odtoku z KČOV

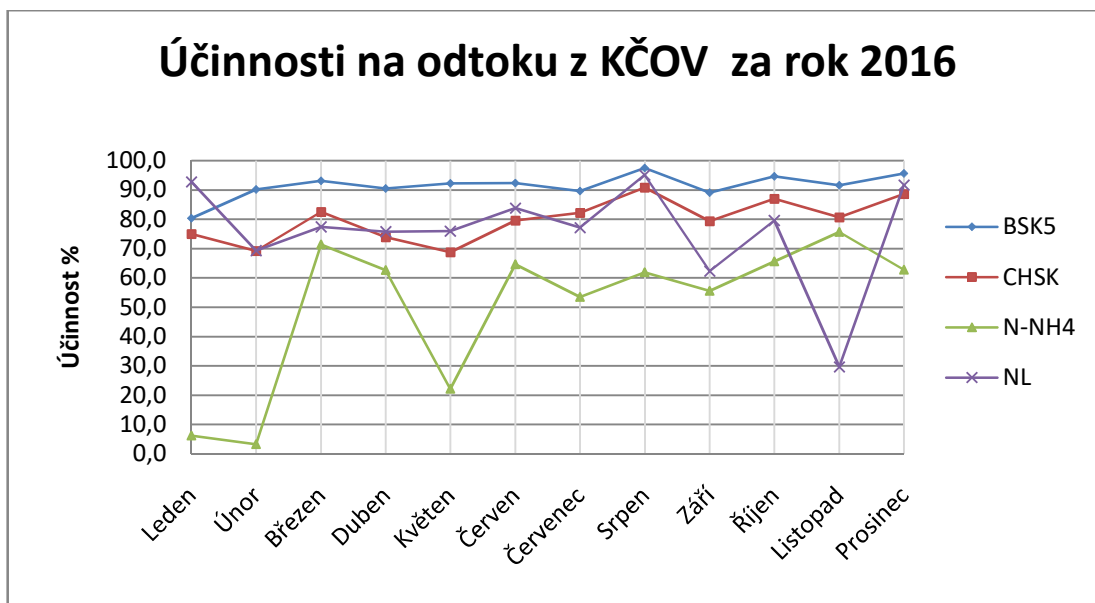
Tab. 13 Hodnoty znečištění na přítoku na KČOV za rok 2016

2016	BSK ₅ [mg/l]	CHSK _{Cr} [mg/l]	N-NH ₄ [mg/l]	NL [mg/l]	P celk. [mg/l]
Leden	125,0	341,0	37,0	138,0	-
Únor	32,2	86,7	9,3	26,0	-
Březen	94,6	263,0	52,1	75,0	-
Duben	74,4	199,0	34,0	74,0	-
Květen	66,3	199,0	33,5	54,0	-
Červen	83,1	254,0	73,2	74,0	-
Červenec	86,0	219,0	37,4	57,0	-
Srpen	153,0	520,0	27,0	300,0	-
Září	146,0	436,0	55,8	61,0	-
Říjen	167,0	368,0	50,8	78,0	-
Listopad	94,1	309,0	66,7	64,0	-
Prosinec	174,0	427,0	59,6	96,0	-
průměr	108,0	301,8	44,7	91,4	-

Z koncentrací znečištění na přítoku na KČOV Dražovice za rok 2016 (tab. 13), které jsme porovnali s hodnotami z téhož roku na odtoku z kořenové čistírny (tab. 12), vyšlo, že účinnosti dosažené v tomto roce při odstraňování biologického znečištění vyjádřené hodnotami BSK₅ a CHSK_{Cr} jsou v průběhu roku velmi vyrovnané. Dosažená průměrná účinnost při odstraňování biologického znečištění se pohybuje okolo 90 %. Oproti tomu účinnosti při odstraňování amoniakálního dusíku jsou poměrně neuspokojivé, neboť dosažená průměrná účinnost kořenové čistírny Dražovice je pouze 50,4 %.

Tab. 14 Účinnosti na odtoku z KČOV za rok 2016

2016	BSK ₅ [%]	CHSK _{Cr} [%]	N-NH ₄ [%]	NL [%]
Leden	80,3	75,0	6,2	92,8
Únor	90,2	69,2	3,2	69,2
Březen	93,0	82,5	71,4	77,3
Duben	90,5	73,9	62,6	75,7
Květen	92,2	68,7	22,1	75,9
Červen	92,3	79,5	64,6	83,8
Červenec	89,5	82,2	53,5	77,2
Srpen	97,4	90,8	61,9	95,0
Září	89,0	79,4	55,6	62,3
Říjen	94,6	87,0	65,6	79,5
Listopad	91,5	80,6	75,6	29,7
Prosinec	95,6	88,6	62,8	91,7
průměr	91,3	79,8	50,4	75,8



Graf 6. Účinnosti na odtoku za rok 2016

Jako doplňkový ukazatel je sledován a hodnocen i celkový fosfor. Na stupni mechanického předčištění dochází k mírnému zvýšení koncentrace fosforu, zřejmě v důsledku procesů probíhajících v zachyceném kalu, který je ve šterbinové nádrži také anaerobně stabilizován po dobu několika měsíců. V kořenových polích a ve stabilizační nádrži pak dochází k procesům eliminace části celkového fosforu z vody.

Velmi výrazně je v kořenových polích eliminován výskyt patogenních mikroorganismů přítomných v odpadní vodě. Ve vzdálenosti 8 - 10 m od přítoku je úbytek vyšší než 90 %. Podle výsledků sledování jakosti vody na KČOV Dražovice v období 12/1999 - 10/2001 bylo průměrné snížení výskytu fekálně koliformních (termotolerantních) a koliformních bakterií na celé KČOV 98,2 %.

4.4 Provoz a provozní problémy na KČOV Dražovice

Čistírna je hydraulicky přetížena oproti projektovým hodnotám, zejména objekty mechanického předčištění vyžadují zvýšenou pravidelnou obsluhu a odkalování. Kořenová pole jsou díky určité zachytivé kapacitě schopna eliminovat vyšší hydraulické zatížení, které se však pohybuje v doporučených mezích.

Každodenně je prováděná kontrola funkčnosti čistírny pracovníkem obsluhy. Pravidelně jsou každý den čistěny česle. Podle aktuálních průtokových poměrů a dešťových událostí je čistěn usazovací prostor lapáku písku a čerpána voda z dešťové usazovací nádrže na přítok do lapáku písku. Zhruba každého čtvrt roku je vyvážen zachycený anaerobně stabilizovaný kal ze šterbinové usazovací nádrže a písek z lapáku písku. Dále jsou dle potřeby čistěny prostory rozdělovacích šachtic od uniklého kalu.

Biomasa rákosu obecného, který je stále dominantním druhem ve vegetaci kořenových polí, není sklízena. V zimním období tak tvoří stařina rákosu tepelnou izolaci pro filtrační prostředí.

Dočišťovací stabilizační nádrž zatím nebyla odbahňována. Postupně však dochází k jejímu plnění bahnem, uniklým kalem a rozloženou biomasou okřehku a řas (prvních 5 let provozu nebyla biomasa sklízena) a tím docházelo ke snižování retenčního prostoru. V roce 2008 byl proveden průzkum množství sedimentu a navržen další postup s ohledem na zajištění odpovídajícího čistícího účinku. Od roku 2005 dochází k pravidelnému odstraňování biomasy okřehku z hladiny stabilizační nádrže a tím k odstranění akumulované organické hmoty obsahující značné množství dusíku a fosforu.

Při dlouhodobém sledování účinnosti KČOV Dražovice bylo zjištěno několik závažnějších problémů, které ovlivňují správnou funkci čistírny. Tyto problémy jsou:

- Poddimenzovaná stabilizační nádrž jako dočišťovací prvek (plocha hladiny asi 780 m² odpovídá podílu 1 m²/1 EO. Doporučené hodnoty pro dočišťovací nádrže jsou však na úrovni 10 až 15 m²/1 EO. (např. Šálek, Tlapák, 2006)
- Nevhodný návrh způsobu rozdělení a regulace vody v objektech (šachticích) na přítoku a odtoku z polí. Navrženy a realizovány byly přelivy z dřevěných dluží. Dřevěné dluže se pro pravidelnou regulaci hladiny a rozdělení vody neosvědčují, po jejich nabobtnání v kontaktu s vodou je prakticky nemožná jakákoliv manipulace s nimi.
- Únik kalu z usazovací šterbinové nádrže (ŠN) při vysokých průtocích.
- Nedostatečně prováděný sběr plovoucích nečistot z povrchu ŠN (zejména zbytků tuku a splývajícího zbytnělého kalu).
- Vznik sekundárního znečištění ve stabilizační nádrži rozkladem biomasy na konci vegetačního období.

Další problémy ovlivňující provoz a čistící účinek mimo drobných závad a poruch, které byly odstraněny, nebyly zaznamenány.

5 Výběr nejvhodnějšího filtračního materiálu

Před samotným zahájením rekonstrukce třetího filtračního pole je proveden filtrační pokus na dvou rozdílných vzorcích šterku. Rozbor je prováděn z důvodu zjištění, který z testovaných filtračních materiálů dosahuje vyšších účinností při odstranění znečištění z odpadních vod a tudíž je vhodnější při použití na rekonstrukci filtračního pole. Filtrační materiál byl vybrán i na základě ekonomického vyhodnocení, souvisejícího zejména s investičními náklady. Jako geograficky nejdostupnější lokality se ukazují dvě: kamenolom Luleč (praní šterku probíhá v obci Olšany) a pískovna Hrušovany u Brna. Použité vzorky při filtračním pokusu jsou vybrány co možná nejjemnější frakce bez příměsí prachové složky (která by způsobovala kolmataci a nepropustnost filtračního prostředí):

- Materiál č. 1: těžný praný písek frakce 0/ 4mm z Hrušovan (Bratčice)(ozn. BR)
- Materiál č. 2: drcený písek frakce 0/ 4mm z Lulče (ozn. LU).

Na vzorcích je zkoumaná jejich účinnost při odstraňování znečištění obsaženého v odpadních vodách. Porovnání se soustředí zejména na snížení koncentrace amoniakálního dusíku (N-NH_4^+) a koncentrace CHSK_{Cr} , které se podle výše uvedených rozborů jeví jako nejčastěji nadlimitní.

Pro účely testování byly vytvořeny dva speciální funkční vzorky testovacích filtračních kolon, které se svým uspořádáním co možná nejvíce přiblíží budoucím reálným podmínkám. Složení jednotlivých vrstev je totožné, jako bude realizované po rekonstrukci filtračního pole.

Na výrobu dvou totožných filtračních kolon jsou použity polystyrenové desky tloušťky 60 mm, které jsou po obvodu zajištěny stahovací folií a vyztuženy dřevěnými hranoly pro zvýšení stability a pevnosti konstrukce kolon. Půdorysné rozměry jedné filtrační komory jsou 600 x 480 mm o výšce kolony 500 mm. Filtrační komory jsou zhotoveny bez pevného dna, aby byl umožněn výtok vody protékané přes filtrační materiál. Osazení obou filtračních komor je na PVC fólii, pomocí které je zachytávána profiltrovaná voda k následným laboratorním rozborům. Obě kolony v průběhu prováděných filtračních pokusů jsou zakryty pomocí plachty, aby se zabránilo vnášení nečistot z vnějšího prostředí.



Obr. 9 Filtroční komory



Obr. 10 Detail osazení filtračních kolon a odběru filtračních vzorků

Odpadní voda je shora přiváděna na filtrační kolony pomocí ponorných čerpadel umístěných v revizní šachtě za prvním filtračním polem. Čerpadla jsou pravidelně spínána pomocí nastaveného časovače. Sepnutí čerpadel je 8 krát za den po dobu jedné minuty, za tento čas je přitekklé množství odpadní vody na filtr s pískem z Bratčic 5 l/min a na filtr s drceným pískem z Luleče 4,7 l/min. Z daných průtoků na jednotlivé filtry vychází, že hydraulické zatížení jednotlivých filtrů je 138,9 mm/den (BR) a 130,1 mm/den (LU). Hydraulické zatížení se spočítá podle vzorce:

$$q = \frac{Q_{24}}{A}$$

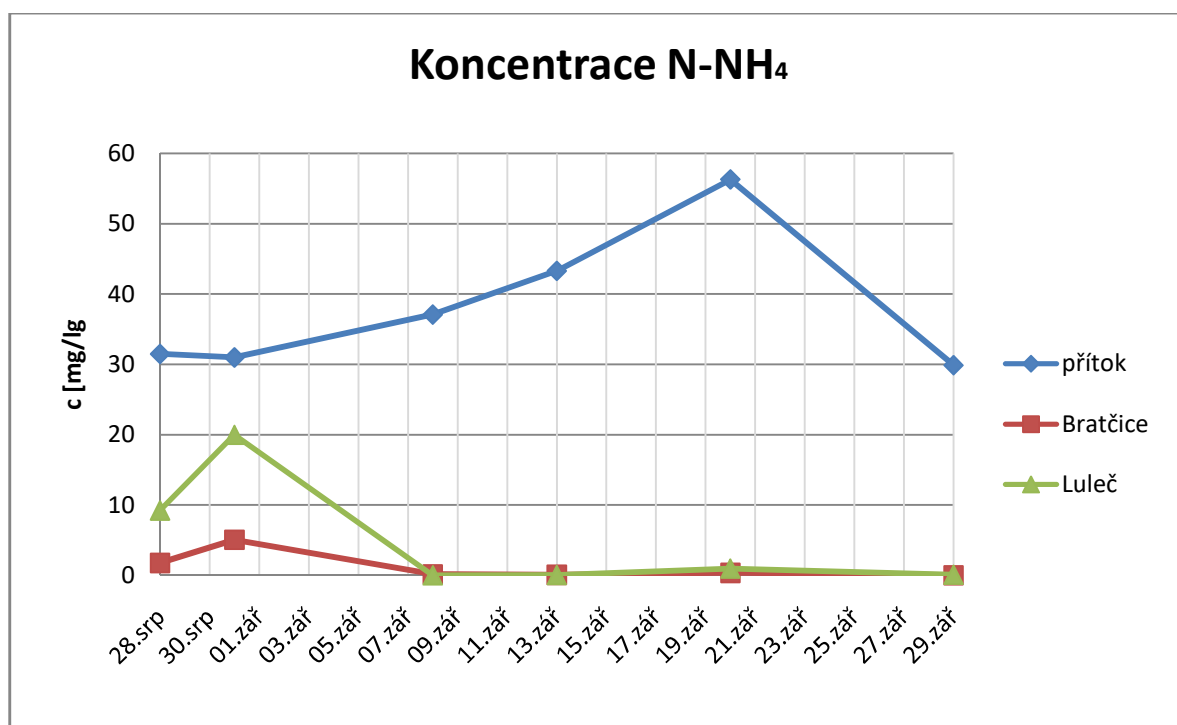
Kde q hydraulické zatížení [m/den]
 A plocha filtrační kolony [m²]
 Q_{24} průtok odpadní vody na filtrační kolonu za den [m³/den]

Z přibližně pravidelných odběrů na filtračních kolonách, které probíhaly od 28. 8. 2016 do 29. 9. 2016, byly zjišťovány účinnosti při odstraňování amoniakálního dusíku a CHSK. Tyto hodnoty jsou vypsány v následující tabulce. V prvních dvou sloupcích s označením „přítok“ jsou hodnoty N-NH₄⁺ a CHSK brány na odtoku z prvního filtračního pole KČOV Dražovice, a to přímo z revizní šachty umístěné za tímto filtračním polem, odkud je čerpána odpadní voda na filtrační kolony. V následujících dvou sloupcích „Bratčice“ a „Luleč“ jsou hodnoty odebírané na výtoku z filtračních kolon.

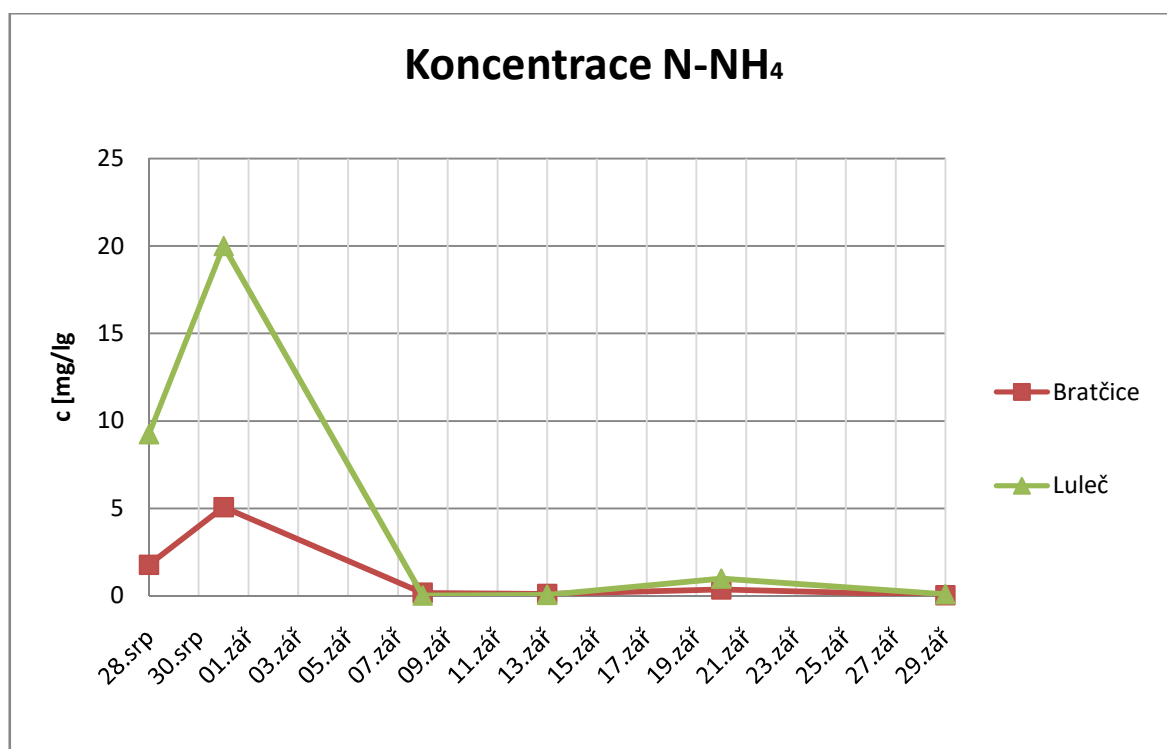
Tab. 15 Sledované parametry pro vybrané filtrační materiály

	Přítok		Bratčice		Luleč	
	N-NH ₄ ⁺ [mg/l]	CHSK [mg/l]	N-NH ₄ ⁺ [mg/l]	CHSK [mg/l]	N-NH ₄ ⁺ [mg/l]	CHSK [mg/l]
28.srp	31,5	59,9	1,78	28,1	9,24	34
31.srp	31	72,9	5,07	26,9	20	22,4
08.zář	37,1	49,8	0,175	18,6	0,02	15,6
13.zář	43,3	102	0,103	29	0,06	28
20.zář	56,3	140	0,376	23,9	0,981	23,5
29.zář	29,9		0,038		0,095	
Průměr	38,2	84,9	1,3	25,3	5,1	24,7
Účinnost [%]			96,71	70,21	86,73	70,91

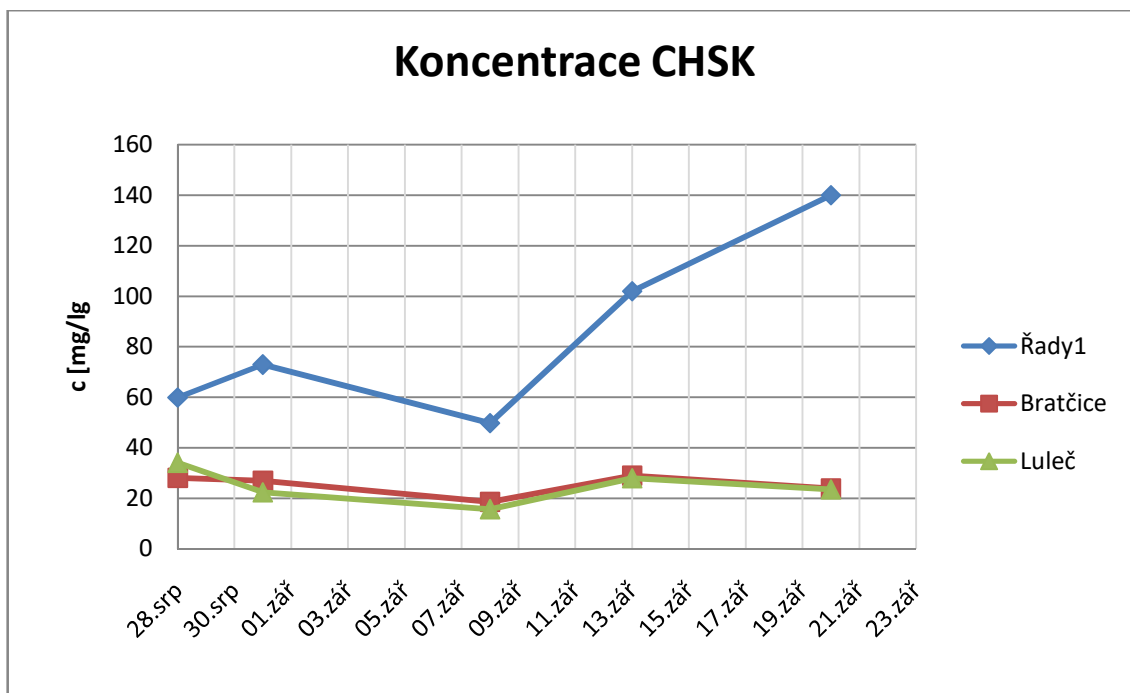
Průběhy jednotlivých koncentrací znečištění na odtoku z filtračních kolon jsou vyneseny v následujících grafech. V prvním grafu je vždy graficky znázorněno srovnání koncentrací daného znečištění na přítoku s koncentracemi zbytkového znečištění na odtoku z filtračních kolon. Pro větší přehlednost je tento graf doplněn druhým grafem, ve kterém jsou vyneseny pouze koncentrace na odtoku. Z druhého grafu je zřetelněji vidět průběh koncentrací znečištění na jednotlivých filtračních materiálech.



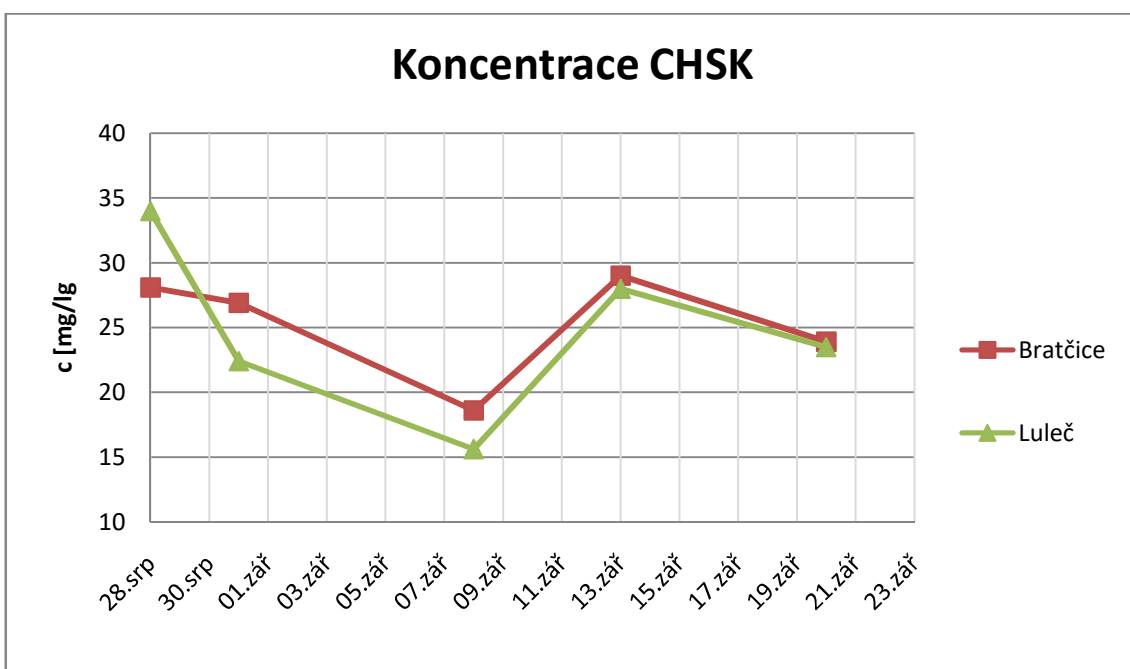
Graf. 7 Průběh koncentrací amoniakálního dusíku



Graf. 8 Průběh koncentrací amoniakálního dusíku



Graf. 9 Průběh koncentrací CHSK



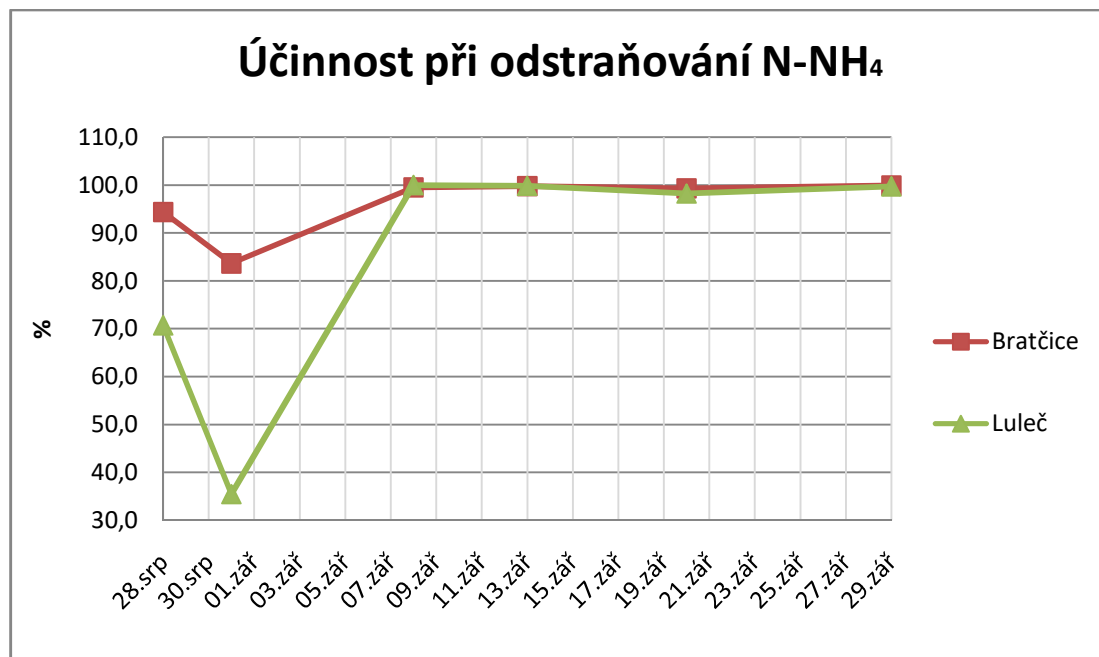
Graf. 10 Průběh koncentrací CHSK

Z koncentrací N-NH_4^+ na odtoku z filtračních kolon vyplývá, že lepších účinností bylo dosaženo na přírodním praném písku frakce 0/4 mm z Bratčic. Znatelný rozdíl účinností je patrný při odstranění N-NH_4^+ , kde na Bratčickém písku bylo dosaženo průměrné účinnosti 96,7 %, oproti tomu na Lulečském písku bylo dosaženo průměrné účinnosti 86,7 %.

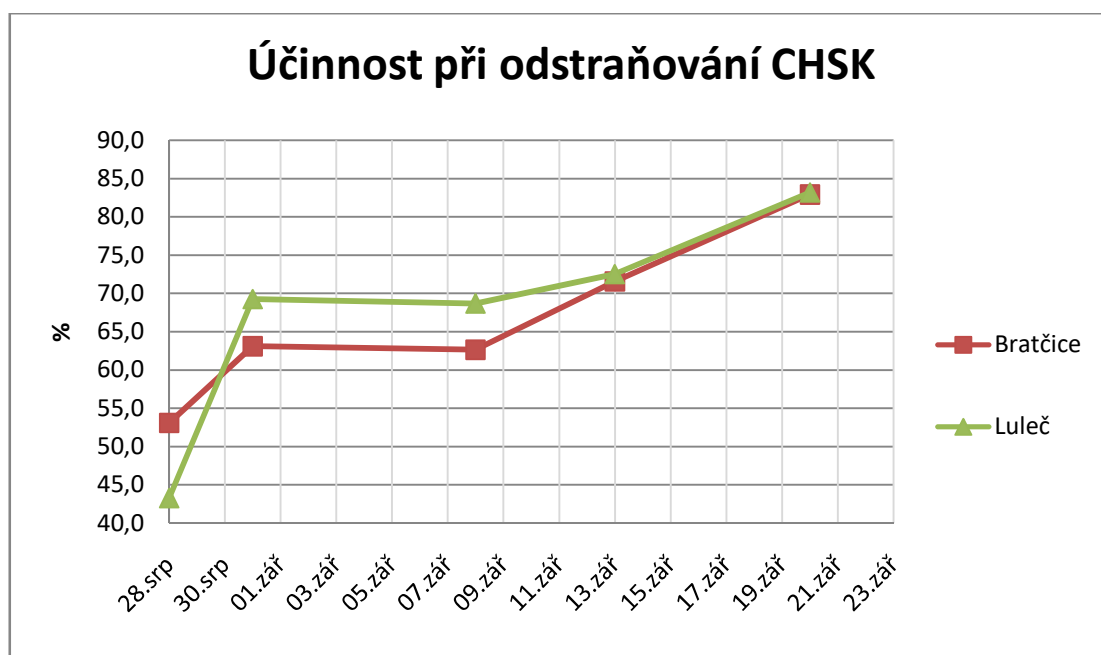
V následující tabulce a navazujících grafech jsou podrobně vypsány a graficky znázorněny účinnosti pro praný přírodní písek z Bratčic a drcený písek z Luleče z jednotlivých odebraných vzorků na odtoku z filtračních kolon. Jak už je na první pohled tak účinnosti dosažené při odstraňování N-NH₄ jsou téměř 100%, oproti tomu účinnosti při odstraňování CHSK se postupně zvětšují.

Tab. 16 Dosažené účinnosti (%) ve sledovaném období

	Bratčice		Luleč	
	N-NH ₄ ⁺ [%]	CHSK [%]	N-NH ₄ ⁺ [%]	CHSK [%]
28.srp	94,3	53,1	70,7	43,2
31.srp	83,6	63,1	35,5	69,3
08.zář	99,5	62,7	99,9	68,7
13.zář	99,8	71,6	99,9	72,5
20.zář	99,3	82,9	98,3	83,2
29.zář	99,9		99,7	



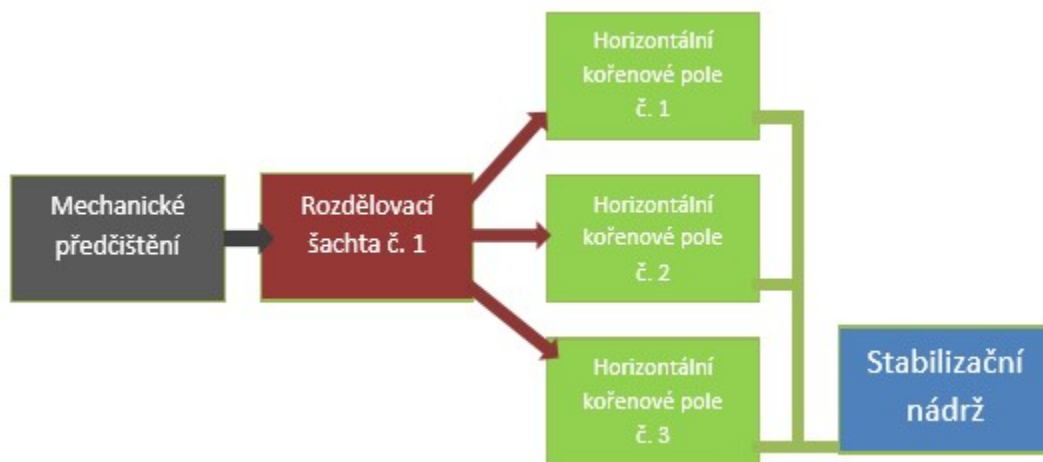
Graf. 11 Průběh účinností při odstraňování N-NH₄



Graf. 12 Průběh účinností při odstraňování CHSK

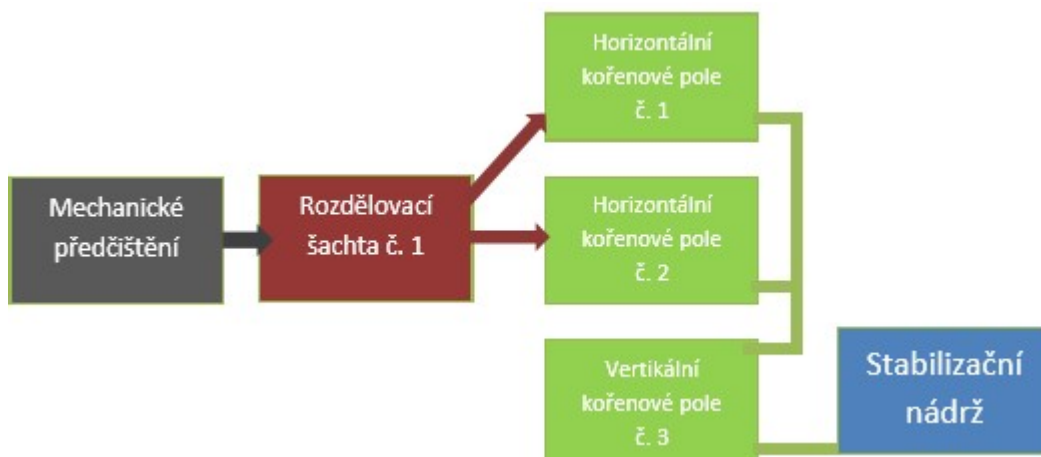
6 Rekonstrukce KČOV

Rekonstrukce kořenové čistírny v obci Dražovice je provedena na základě připomínek správce toku a oboru ŽP pod stavebním úřadem města Bučovice. Hlavním cílem změny stavby je zvýšení čistící účinnosti v odstraňování amoniakálního dusíku a zároveň i podstatné zvýšení účinnosti odstranění znečištění CHSK_{Cr} a BSK_5 s využitím stávajícího řešení ČOV v co možná nejvyšší míře.



Obr. 11 Schéma uspořádání KČOV před rekonstrukcí

Řešení (úprava, změna) se týká pouze třetího filtračního pole a jeho vlastního zapojení do sériového uspořádání, oproti původnímu paralelnímu. Nově bude odpadní voda protékat mechanickým předčištěním, dvěma horizontálně protékanými filtry (stávající, beze změny), potom bude přečerpávána do akumulčních šachet nad třetím filtrem a následně do stabilizační nádrže (stávající, beze změny).



Obr. 12 Schéma uspořádání KČOV po rekonstrukci

6.1 Urbanistické a architektonické řešení stavby

V současné době se jedná o horizontálně protékané anaerobní kořenové filtry, které se přibližují účinností odstraňování amoniakálního dusíku přibližně 50 % díky zapojení pulzně vypouštěcích zařízení v odtokových šachtách za filtračním polem č. 1 a č. 2. Filtrační pole č. 3 je provozováno jako trvale zatopené bez kolísající hladiny (odtoková šachta neumožňuje regulaci hladiny vzhledem k niveletě). Čistící účinnost N-NH_4^+ dotčeného filtračního pole č. 3 je minimální (blíží se nulové hodnotě), proto je přistoupeno k nápravě současného stavu.

Jako optimální se jeví využití stávajícího řešení a zapojení čistírny v co možná největším rozsahu. Koncept zahrnuje opravu posledního horizontálního filtru č. 3, který bude technickými detaily opraven tak, aby do budoucna spolehlivě zajišťoval intenzivní odstranění amoniakálního znečištění. Technickou změnou bude zajištěn spolehlivý provoz bez výskytu znečištění, které se blíží limitním a povoleným hodnotám.

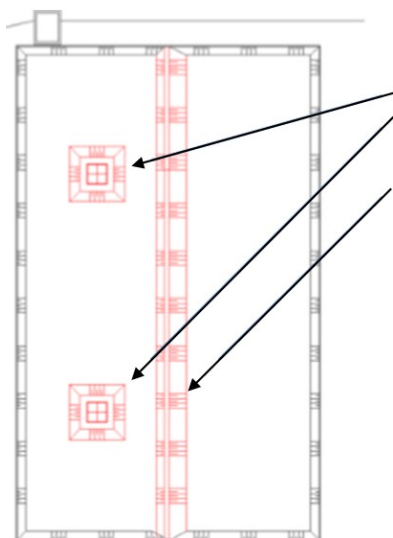
Změnou stavby nebude dotčena půdorysná plocha stávajícího řešení, dojde pouze k navýšení poloviny půdorysné plochy filtru č. 3 přibližně o výšku 1,0 m. Po zapracování navýšeného filtru bude pro běžného pozorovatele změna téměř nepozorovatelná, nicméně odtokové parametry budou diametrálně odlišné, koncentrace amoniakálního dusíku nebudou přesahovat celoročně hodnotu 10 mg/l.

6.2 Technické řešení

6.2.1 Filtrační pole

Změna filtračního pole koncepčně spočívá v rozdělení na dvě stejně velké části, přičemž budou zachovány půdorysné rozměry filtru. Rozměry filtru ve dně jsou 30 x 50 metrů. Filtr bude rozdělen po délce částečně propustnou hrází.

Zobrazení posledního filtračního pole se zapojením oprav:



Dva červeně vyznačené čtverce = podsyp pod budoucími rozdělovacími šachtami

Svislý příčný obdélník = rozdělovací hrázka z původního zakolmatovaného materiálu

Obr. 13 Naznačení půdorysného uspořádání (podrobnosti ve výkresové dokumentaci)

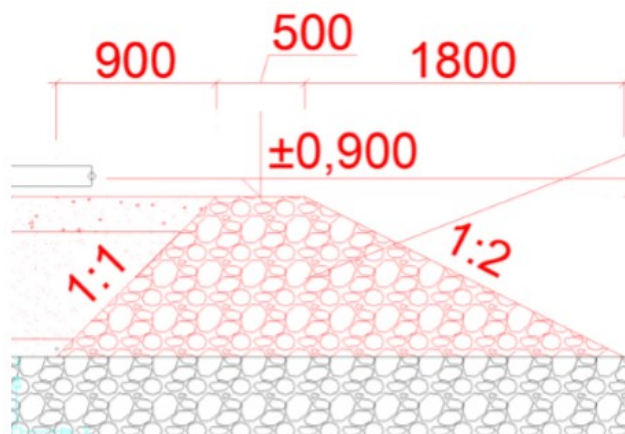
Nově vzniklé části filtračního pole budou nadále využívány, s tou výjimkou že jedna část filtračního pole bude přestavěna z horizontálně protékaného filtru na vertikálně skrápěný filtr. Tato změna se ze stavebního hlediska projeví jinou koncepcí složení jednotlivých filtračních vrstev. Výška nově nasypaného filtračního materiálu oproti stávajícímu bude dosahovat úrovně + 90 cm, nad touto úrovní budou symetricky umístěny dvě rozdělovací šachty, plnící hlavní distribuční funkci pro rozvod odpadní vody na navýšený filtrační materiál.

Složení jednotlivých vrstev vychází z charakteristiky přitékající vody – minimální obsah nerozpuštěných látek (NL), oproti přítoku snížené hodnoty chemického znečištění (CHSK_{Cr}) i biochemického organického znečištění (BSK₅). Jako hlavní filtrační materiál bude použit praný písek z Bratčic o frakci 0 - 4 nebo 0 - 5 mm o mocnosti filtračního materiálu 600 mm. Jelikož se jedná o jemný materiál, je nutné uvažovat s podkladní vrstvou (přechodový filtr, frakce 4 - 8 mm) o mocnosti 50 - 100 mm. Protože jde o přechodový filtr, není potřeba dodržet přesnou hodnotu tloušťky vrstvy, ale musí být pokrytá celá plocha odkrytého původního materiálu a vytvořen rovný podklad pro hlavní filtrační materiál. Jako svrchní vrstva je s ohledem na distribuci vody a mokřadní vegetaci voleno říční prané kamenivo o stejné frakci použité na přechodový filtr, čili frakce 4 - 8 mm. Výška svrchní vrstvy bude 200 mm.

Před zahájením úpravy filtru je nutno provést přípravné práce. Jedná se o úpravu stávajícího povrchu upravovaného filtru. Je nutné provést shrnutí vegetačního pokryvu pomocí těžké mechanizace a následně svrchní části stávajícího filtračního materiálu v tloušťce cca 10 cm a vytvořit tři samostatná tělesa: nízkou hráz napříč horizontálním polem č. 3 + dvě podkladní vrstvy pod budoucí rozdělovací šachty (obr. 12). Podrobnosti jsou uvedeny níže ve výkresové dokumentaci. Hráz je tedy tvořena stávajícím částečně prorostlým a mírně zakolmatovaným materiálem, dělí filtr na dvě části po šířce filtru. Není nezbytně nutné dodržet tloušťku shrnované vrstvy o výšce 10 cm – je možné podle aktuálního stavu a zakolmatování tuto hloubku upravit.

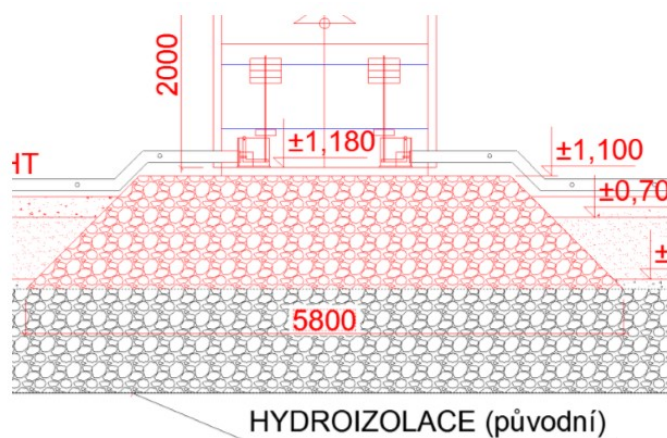
Při shrnování není nutné dbát na doporučenou šířku koruny hráze 500 mm, protože samotná hráz nemá vliv na výslednou čistící účinnost filtru. Taktéž vnitřní svah 1:1 a vnější svah 1:2 není třeba dodržovat přímo v takto doporučených sklonech. Nutné je zachování budoucí stability svahů, mírnější sklon je předpokladem pro stálost tvaru hráze. Nicméně stabilita hráze je i s ohledem na další doplněné potrubí žádoucí.

Délka hráze je cca 50 m, celkový objem přesunutého materiálu na stavbu hráze je 85 m³.



Obr. 14 Řez navýšenou nově vytvořenou hrázkou v polovině filtračního pole č. 3

Podkladní vrstvy pod rozdělovací šachty by měly být oproti koruně výše popsané hráze vyvýšeny nejlépe o 200 mm. Celková výška podkladu pod rozdělovací šachtu je 1,1 m oproti stávající úrovni filtračního materiálu. Objem materiálu pod jednou šachtou je přibližně 26 m³, jedná se obdobně jako u rozdělovací hráze o stávající částečně prorostlý a zakolmatovaný materiál.



Obr. 15 Řešení podsypu stávajícím materiálem pod budoucí rozdělovací šachtu

Jelikož je nutné počítat se statickým zatížením vzniklé podkladní vrstvy pod rozdělovací šachtou (obr. 14), doporučuje se v průběhu dalšího postupu vždy tuto vrstvu ztuhnout těžkou mechanizací tak, aby při budoucím provozu nedošlo k posunu nebo naklonění šachty. Nutné je uvědomění si, že plná šachta bude dosahovat hmotnosti až 6 000 kg, resp. může docházet k nepravdělnému plnění jednotlivých rozdělovacích komor. Z tohoto důvodu budou na podkladní vrstvy usazeny betonové panely, které zajistí rovnost podkladu pro šachty a umožní lepší roznesení zatížení vzniklé od šachet.

Veškeré prováděné stavební práce budou prováděny s ohledem na stávající hydroizolaci a její krytí pomocí geotextilie, aby nedošlo k mechanickému poškození. Stávající hydroizolace bude ponechána, stejně tak stávající odtokové potrubí.

6.2.2 Přípojka nízkého napětí (NN)

Zásadní rozdíl oproti stávajícímu řešení spočívá v nutnosti zapojení elektrické energie z důvodu čerpání odpadní vody, která přitéká do odtokové šachty za filtračním polem č. 3 na upravené kořenové pole č. 3. Doprava vody je nutná proto, aby bylo dále umožněno její postupné „prokapávání“ vrstvou nového filtračního materiálu. Elektřina nebude tedy využita přímo pro proces čištění, ale pouze zajistí přečerpání vody výše. Jelikož se v objektu kořenové čistírny nachází přípojka NN, není nutné, aby obec budovala novou přípojku el. energie, ale pouze provedla rozšíření stávajících instalací NN v objektu kořenové čistírny odpadních vod. Předpokládá se tedy rozšíření instalace NN přivedením zdroje el. energie k odtokové šachtě za filtračním polem č. 3, přičemž nutností je uzamykatelná rozvodná skříň přibližně ve vzdálenosti do 2,0 m od šachty za filtračním polem č. 3.



Obr. 16 Přípojka NN u revizní šachty č. 3

6.2.3 Návrh čerpadla

Z důvodu osazení dvou rozdělovacích komor na kořenovém filtru, jsou navrženy dvě kalová čerpadla, každé pro jednu komoru. Obě kalová čerpadla budou osazena v revizní šachtě a propojena přes jeden spínací plovák. Dané propojení zaručí rovnoměrné čerpání vody do obou rozdělovacích komor. Volba čerpadel vychází z požadavku na čerpané množství odpadní vody, které bude přečerpáváno z revizní šachty č. 3. Přitékající množství odpadní vody na kořenovou čistírnu vychází z výpočtu denní spotřeby vody vynásobené množstvím

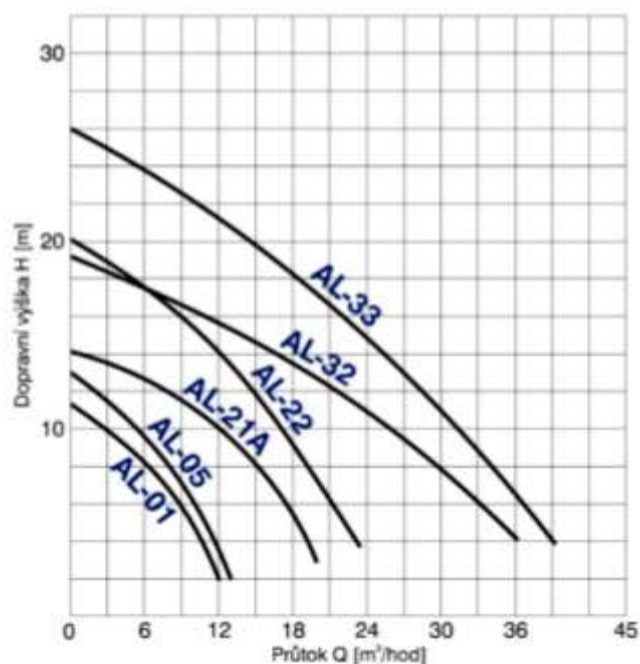
obyvatel. Z toho vyplývá denní přítok odpadní vody 127,5 m³/den. Dalším kritériem pro výběr čerpadla je výtlačná (dopravní) výška. Výtlačná výška je spočtena z rozdílu nadmořských výšek mezi výškou nátoky do rozdělovací komory dnem revizní šachty, odkud bude odpadní voda čerpána. Tato výtlačná výška vychází přibližně 4,0 metry.

Tab. 17 stanovení provozních nákladů pro obě čerpadla

Počet obyvatel	850	EO
Denní spotřeba vody	150	l/den
Denní přítok	127,5	m ³ /den
Doba provozu jednoho čerpadla za den	12,8	hod
Doba provozu dvou čerpadel za den	6,4	hod
Spotřeba el. energie	6,4	kWh/den
Roční spotřeba el. energie	2236	kWh/rok
Provozní náklady (na množství vody)	0,28	Kč/m ³

Z výsledných kritérií a vypočtených hodnot jsou zvolena dvě kalová čerpadla typu HCP AL01 230V, která budou propojena plovákovým spínačem H07RNF (délka kabelu 5,0 m). Jedná se o lehká a kompaktní ponorná čerpadla. Jsou určena pro odvodnění základů a prostorů s nahromaděnou vodou, pro vypouštění rybníků, bazénů a nádrží, pro odčerpávání vody ze zatopených sklepů, nebo pro přečerpávání vody ze studní. Při daném uspořádání je předpokládaný průtok 10,0 m³/hod. Očekává se provoz čerpadel 12 hodin denně, kapacitně jsou navržena s rezervou 100 %.

Typ		Odpadní voda, AL		
Výtlač		32, 50 mm	80 mm	
Jmenovitý výkon		0,5kW - 2,2kW		
Čerpaná kapalina	Teplota kapaliny		0 - 40°C	
	Charakter kapaliny		Odpadní voda	
	Rozsah pH kapaliny		6 ÷ 9	
	Konstrukce	Oběžné kolo	Otevřené	
Mechan. ucpávka		Dvojitá mechanická ucpávka		
Čerpadlo	Materiál	Horní kryt	SUS304 (ČSN 17240)	
		Ložisko	Uzavřené ložisko	
		Oběžné kolo	FC20 (ČSN 422420)	FCD70 (ČSN 422307)
		Spirála	FC-20 (ČSN 422420)	
		Sací víko	FC-20 (ČSN 422420)	
		Mech. ucpávka	Ze str. motoru	CA/CE
	Ze str. čerpadla		CA/CE	
	Typ		Suchý motor	
Motor	Izolace • Polarita		Třída B • 2P	
	HZ • F • V		50Hz • 3x 230V • 400V	
	Automatické odpojení		Tepelná ochrana / Termostat (DN 32)	
	Materiál	Plášť motoru	SUS304 (ČSN 17240)	
		Hlavní hřídel	SUS410 (ČSN 17021)	SUS420J2 (ČSN 17023)
Kabel		H07RNF		



Obr. 17 Q-H křivka doporučených čerpadel

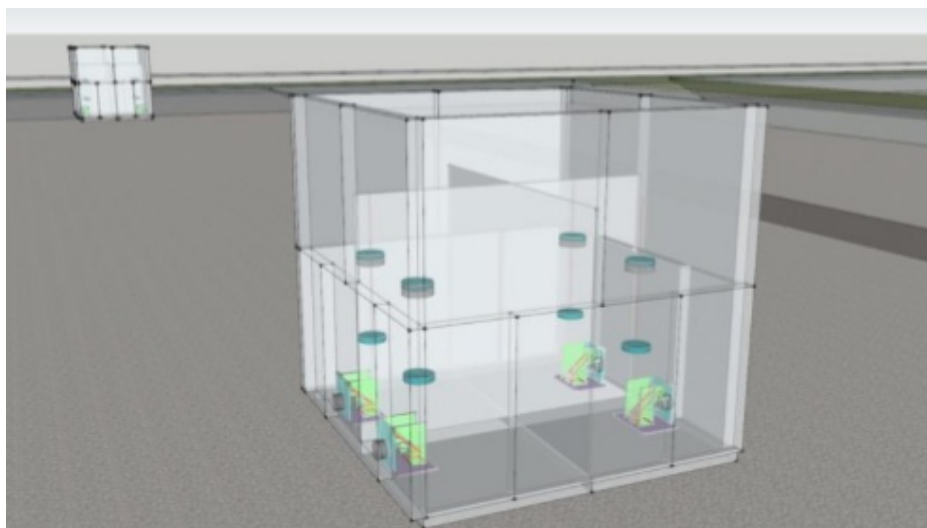
6.2.4 Rozdělovací šachta

Jak bylo popsáno v předešlé kapitole, odpadní voda je čerpána pomocí čerpadel do dvou rozdělovacích šachet. Tyto šachty jsou osazeny v příčném směru v $\frac{1}{4}$ vzdálenosti od okraje filtračního pole (přesný popis viz výkresová dokumentace). Šachty jsou osazeny na předem zhotovených valech, které jsou zhutněny a na vrchní straně opatřeny betonovými panely pro snazší osazení šachet a dále z důvodu roznesení zatížení vzniklého od rozdělovací šachty do podloží.

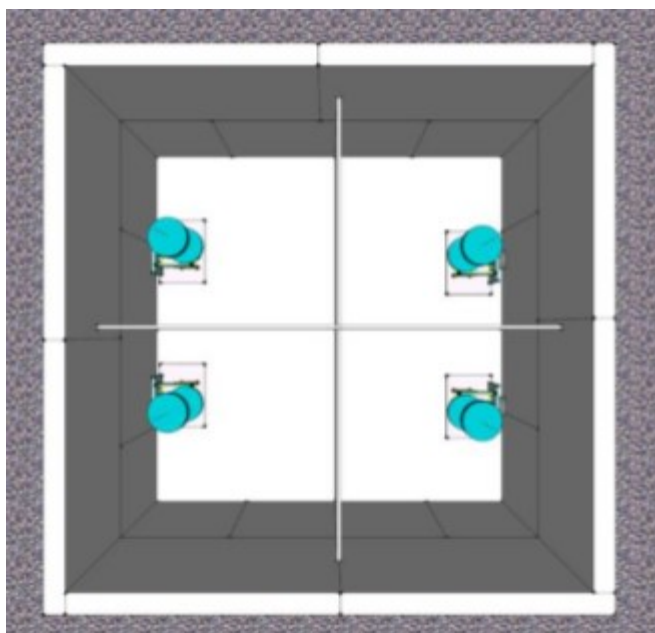
Rozdělovací šachty jsou zhotoveny v areálu KČOV Dražovice. Na výrobu šachet jsou použity polypropylénové modulové stěnové dílce o rozměrech 1000 x 1000 x 80 mm. Rozměry šachty jsou s ohledem na potřebnou plochu filtru 2 x 2 x 2 metry. Šachta je složena z šesti předem svařených dílců daných rozměrů. A celá šachta je svařena až na místě uložení na filtračním poli. Zkompletování na místě uložení je z důvodu snazší manipulace s jednotlivými bloky. Svaření dílců je provedeno trojitým návarem plastového spojovacího materiálu (PP) pro zajištění pevnosti a vodotěsnosti sváru. Šachta bude po vnějším obvodu zaizolována polystyrenovými deskami tloušťky 100 mm a natažením perlinky s lepidlem. Izolace šachty se provádí z důvodu zabránění promrzání v mrazivých dnech.

Vnitřní prostor šachty je rozdělen na čtyři dílčí objemy. Rozdělení vnitřního prostoru je provedeno ze stěnových dílců tl. 12 mm, které jsou svařeny stejnou metodou jako samotná šachta. Vzniklé dílčí objemy slouží pro zásobování jednotlivých větví rozvodného potrubí. Každý z prostorů je opatřen vypouštěcím zařízením (patentováno Vysokým učením

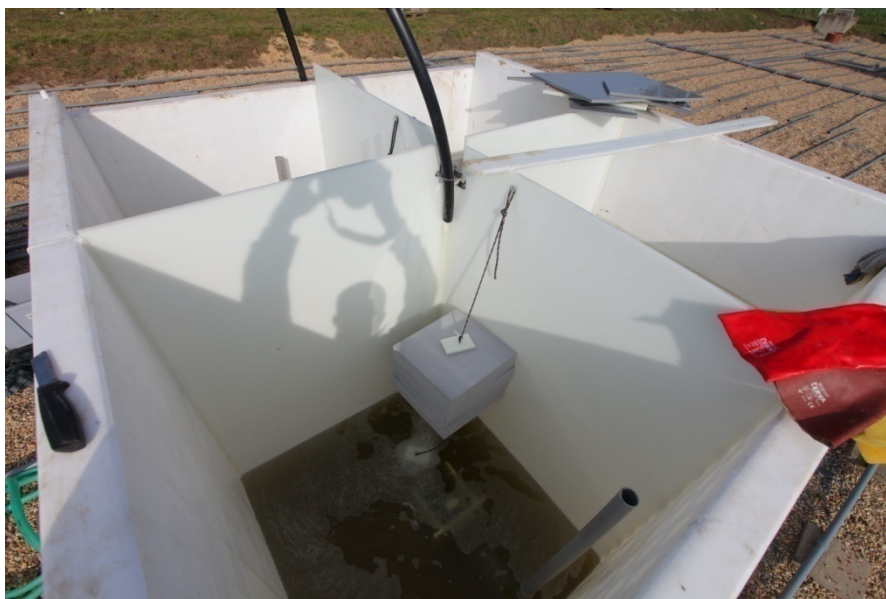
technickým v Brně, výrobce ASIO, spol. s r.o., zařízení AS-PULZ). Toto zařízení funguje na principu pulzního vypouštění odpadní vody. To znamená, že samotné vypuštění je regulováno pomocí plováku, který je připevněný k vypouštěcí klapce. Klapka se otevře při dosažení maximální hladiny odpadní vody v dílčím prostoru šachty za pomoci plováku. Výška maximální hladiny odpadní vody v šachtě je 1,4 metry. Nad úrovní max. hladiny je rozdělovací mechanismus, zajišťující rovnoměrné rozdělení vody (přitékající čerpadlem) na čtyři dílčí objemy.



Obr. 18 Schematické zobrazení rozdělovací šachty (2 x 2 x 2 m)



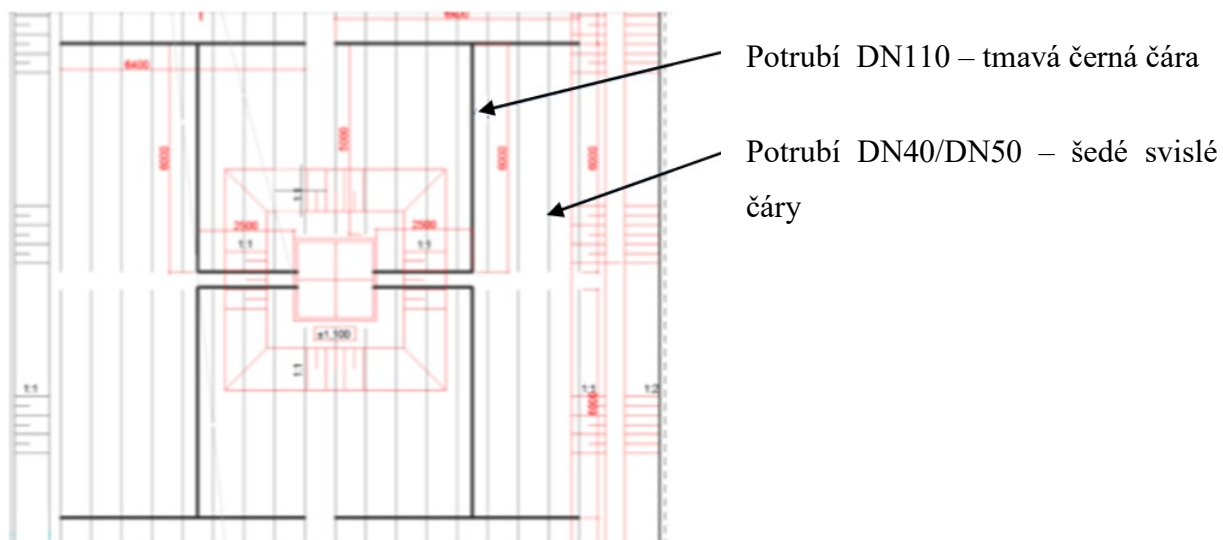
Obr. 19 Schematické zobrazení vnitřního uspořádání rozdělovací šachty



Obr. 20 Vnitřní uspořádání rozdělovací šachty

6.2.5 Rozdělovací potrubí

Jedná se o systém potrubí, který rozvádí pulzně vypouštěnou odpadní vodu rovnoměrně po celé ploše vertikálně skrápěného filtru. Samotný návrh potrubí, jeho parametrů a prostorového rozvržení po ploše filtračního lože vychází z ověřených zkušeností z jiných realizovaných projektů, např. KČOV Kotečnice, kde je systém vertikálně skrápěných filtrů použit.



Obr. 21 Půdorysné řešení rozdělovací potrubí (podrobnosti ve výkresové dokumentaci)

Rozdělovací potrubí je realizováno z plastového potrubí, které je určeno pro vnitřní kanalizace - šedý polypropylen s označením PP-HT. Potrubí je řešeno nejprve po napojení na rozdělovací šachtu jako DN110, z každé výusti nejprve přibližně 2,5 m přímý směr, následně v délce 6,0 m vedeno na střed zásobované plochy. Poté musí být napojen T-kus jako

rozdělení na dva stejné proudy (vlevo a vpravo). Další postup potrubí je opakováním „trubka 0,5 m, T-kus vlevo, T-kus vpravo“ tak, aby bylo možné připojení rozdělovacích částí o průměru DN40 nebo DN50 (přesné rozmístění v příložené výkresové dokumentaci). Ramena jednotlivých rozdělovacích částí jsou osazena po vzdálenostech 600 - 800 mm. Před samotnou montáží rozvodné potrubí DN40 (DN50) bude potrubí opatřeno výtakovými otvory. Tyto otvory jsou rovnoměrně rozděleny ze spodní strany potrubí a slouží k rozstříku odpadní vody na filtrační lože. Otvory budou vyvrtány po vzdálenosti 250 mm o průměru 5 mm.



Obr. 22 Rozmístění rozdělovacího potrubí



Obr. 23 Ukázka výtoku vody z penetrovaného rozdělovacího potrubí

Důležitý požadavek při osazování potrubí je na výškově přesné osazení ve vodorovné rovině (tolerance mezi nejnižší a nejvyšší úrovní max. 1,0 cm). Jedině tak je možné přiblížit se co možná nejvíce rovnoměrnému rozdělení odpadní vody po ploše vertikálního filtru. Proto bude rozdělovací potrubí na povrchu nově rozprostřeného filtračního materiálu umístěno na pevném podkladu (např. betonová dlažba). Vzdálenost jednotlivých dlaždic by neměla být větší jak 800 mm. K tomuto podkladu bude ukotvena pomocí „prstýnků“ podle fotografie níže.



Obr. 24 Ukotvení potrubí pomocí „prstýnků“

7 Závěr

Práce se zabývá technickým řešením kořenové čistírny odpadních vod pro obec Dražovice, a to zejména změnou technologického uspořádání čistících prvků v hlavním čistícím stupni, tj. na kořenových filtrech. Zásadní změnou je rekonstrukce třetího horizontálně protékaného filtru, který bude přestavěn na vertikálně skrápěný filtr. Rekonstrukce kořenové čistírny v obci Dražovice je provedena na základě připomínek správce toku a oboru ŽP pod stavebním úřadem města Bučovice. Hlavním cílem změny stavby je zvýšení čistící účinnosti v odstraňování amoniakálního dusíku a zároveň i podstatné zvýšení účinnosti odstranění znečištění CHSK_{Cr} a BSK_5 s využitím stávajícího řešení ČOV v co možná nejvyšším rozsahu.

Z teoretické rešerše z dostupné literatury, která se zabývá kořenovými čistírnami odpadních vod, vyplývá, že se jedná o poměrně novou technologii v čištění odpadních vod. Jejich předností oproti čistírnám s aktivačními procesy je jejich vliv na okolní prostředí, jelikož se využívá přírodních čistících procesů pomocí vodních rostlin. Na toto teoretické seznámení se dvěma základními technologiemi uspořádání kořenových filtrů a parametry jejich navrhování navazuje kapitola „Stav KČOV Dražovice - před rekonstrukcí“. V této kapitole je popsáno technologické uspořádání kořenové čistírny a dále se zde zabýváme účinnostmi při odstraňování znečištění odpadních vod, ze kterého vyplývá, že účinnost kořenové čistírny při odstraňování biologického znečištění vyjádřeného hodnotami CHSK_{Cr} , resp. hodnotami BSK_5 a snížení koncentrace nerozpuštěných látek je v průměru okolo 75 %. Oproti tomu už ne tak pozitivních účinností je dosaženo při odstraňování N-NH_4 , kde celková účinnost kořenové čistírny dosahuje pouze 38 %.

Po této studii stávajícího stavu KČOV Dražovice byl proveden filtrační pokus pro stanovení nejvhodnějšího materiálu, který bude použit při následující rekonstrukci třetího kořenového filtru. Filtračnímu testu byly podrobeny dva vzorky šterku a to praný písek z Bratčic a drcený písek z Lulče. Z provedeného testování, které proběhlo po dobu jednoho měsíce, kdy byly pravidelně odebírány vzorky přefiltrované vody, vyšlo, že praný písek z Bratčic dosahuje vyšších účinností při odstranění CHSK_{Cr} a hlavně i při odstraňování N-NH_4 . Z důvodu těchto lepších účinností bude použit při rekonstrukci třetího kořenového filtru.

Hlavním předmětem této práce je samotná rekonstrukce KČOV Dražovice. Rekonstrukce byla zahájena v srpnu 2016 a dokončení proběhlo v půli listopadu téhož roku. Rekonstrukce KČOV Dražovice spočívala v provedení technologické změny části třetího zakolmatovaného kořenového filtru, který byl rozdělen na dvě stejné části. Pravá část filtračního pole byla

ponechána jako horizontálně protékaný filtr, kde nebyly prováděny žádné stavební úpravy. Oproti tomu levá část filtru byla přestavěna z horizontálně protékaného filtru na vertikálně skrápěný filtr. Veškerý postup stavebních prací a návrhu jednotlivých technických parametrů je popsán v kapitole „Rekonstrukce KČOV“, která je podložena výkresovou dokumentací.

Technický návrh byl proveden ve spolupráci s Ústavem vodního hospodářství krajiny na fakultě stavební VUT v Brně pod vedením pana Ing. Michala Kříšky Ph.D. Výzkumná část a stejně samotný návrh technického řešení je podpořen projektem FAST-S-16-3284: Výzkum a posouzení nového technického řešení filtračního pole pro stávající kořenovou čistírnu odpadních vod.

Rozbory odpadní vody na odtoku z KČOV Dražovice v měsíci listopadu a prosinci, kdy už je KČOV v plném provozu, zatím neukázaly příliš velké zlepšení. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 12. Příčinou dosavadního nepříliš výrazného zlepšení účinnosti kořenové čistírny může být zamrzání rozdělovacího potrubí vlivem vysokých mrazů. Při zamrznutí rozdělovacího potrubí, které postupně zamrzá od konce rozdělovacích větví, dochází k nerovnoměrnému rozstříku odpadní vody na plochu filtračního pole. Tento problém by měl být vyřešen v následujícím roce, kdy dojde v jarním období k výsadbě vodních rostlin po celé ploše vertikálně skrápěného filtru. Na výsadbu bude použita chrastice rákosovitá nebo rákos obecný. Sazenice budou vysazeny cca 4 ks/m². Díky této výsadbě se zvýší čistící účinnost vertikálně skrápěného filtru a vysazená vegetace bude v zimním období sloužit jako tepelná izolace rozdělovacího potrubí a tím zabráni zamrzání jednotlivých ramen rozdělovacího potrubí.

8 Literatura

8.1 Použitá literatura

ABOU-ELELA, Sohair I. a Mohamed S. HELLAL.

Municipal wastewater treatment using vertical flow constructed wetlands planted with *Canna*, *Phragmites* and *Cyperus*. *Ecological Engineering*. 2012, vol. 47, s. 209-213. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.06.044>.

KRIŠKA Michal, NĚMCOVÁ Miroslava, Kořenové čistírny odpadních vod – Metodická příručka pro povolování, návrh, realizaci a provoz, (2015)

MOSHIRI, Gerald A. *Constructed wetlands for water quality improvement*. Boca Raton: Lewis Publishers, c1993, 632 p. ISBN 08-737-1550-0.

ŠÁLEK, Jan. *Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod*. 1. vyd. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2006, 283 s. ISBN 80-867-6974-7.

ŠNAJDR, M.: Kořenová čistírna odpadních vod, *EKO: ekologie a společnost* 3/2008, str.22-23

VYMAZAL, Jan. Kořenové čistírny odpadních vod: Dvacet let zkušeností v České republice, *Vodní hospodářství* 4/2009, str. 113-118

VYMAZAL, Jan. *Kořenové čistírny odpadních vod*, ENKI Třeboň (2004), 14 str.

VYMAZAL, J., Beneš, J., Hrnčíř, P., Rozkošný, M., Šálek, J., Křiška, M., Kröpfelová, L., Schwarzová, R. (2008). Metodická příručka pro navrhování, budování, povolování, provoz a kontrolu kořenových čistíren odpadních vod (Guideline for design, construction, permission, operation and inspection of constructed wetland wastewater treatment plants). Návrh pro MŽP ČR (Proposal for Ministry of the Environment of the Czech Republic). 47 p.

WU, Shubiao, Peter KUSCHK, Hans BRIX, Jan VYMAZAL a Renjie DONG. Development of constructed wetlands in performance intensifications for wastewater treatment: A nitrogen and organic matter targeted review. *Water Research*. 2014, vol. 57, issue 1, s. 40-55. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2014.03.020>.

8.2 Internetové zdroje

[1]<http://vodnihospodarstvi.cz/korenove-cistirny/>

[2]<http://www.risy.cz/cs/vyhledavace/obce/detail?Zuj=592994>

[3]https://www.czso.cz/csu/xb/charakteristika_okresu_vyskov

[4]http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php?mapa=g50&y=573900&x=1163400&r=2000&s=1&legselect=0

[5]<http://kokorinsko.ochranaprirody.cz/charakteristika-oblasti/klimaticke-pomery/>

[6]http://147.33.74.135/knihy/uid_es-006/ebook.html?p=S032

[7]<http://www.korenova-cisticka.cz/o-korenovkach/fungovani/Korenova-cisticka%E2%80%93korenova-cistirna%E2%80%93rosliny-pro-korenovou-cisticku.html>

9 Seznam příloh

- 01 KČOV DRAŽOVICE PŮDORYS
- 02 KČOV DRAŽOVICE PŮDORYS - NÁSYP
- 03 KČOV DRAŽOVICE PŮDORYS - POTRUBÍ
- 04 KČOV DRAŽOVICE ŘEZ C-D
- 05 KČOV DRAŽOVICE ŘEZ C-D - NÁSYP
- 06 KČOV DRAŽOVICE ŘEZ C-D - POTRUBÍ
- 07 KČOV DRAŽOVICE ŘEZ A-B
- 08 KČOV DRAŽOVICE ŘEZ A-B - NÁSYP
- 09 KČOV DRAŽOVICE ŘEZ A-B - POTRUBÍ